



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

**“DISEÑO DE UNA PLANTA DE POTABILIZACIÓN DE AGUA
PARA LA PARROQUIA MATRIZ SITUADA EN EL CANTÓN
PENIPE EN LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO.”**

Trabajo de titulación presentado para optar el grado académico de:

INGENIERO QUÍMICO

AUTOR: SANTIAGO RAFAEL SÁNCHEZ GRANIZO

TUTOR: ING. MÓNICA ANDRADE

RIOBAMBA – ECUADOR

2015

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

El Tribunal de Tesis certifica que: El trabajo de investigación: “DISEÑO DE UNA PLANTA POTABILIZADORA DE AGUA PARA LA PARROQUIA MATRIZ DEL CANTÓN PENIPE DE LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO”, de responsabilidad del señor Santiago Rafael Sánchez Granizo, ha sido prolijamente revisado por los Miembros de Tesis, quedando autorizada su presentación.

| | FIRMA | FECHA |
|--|--------------|--------------|
| Dra. Nancy Veloz DECANA FAC. CIENCIAS | _____ | _____ |
| Dr. Marcelo Ramos DIRECTOR ESC. ING. QUÍMICA | _____ | _____ |
| Ing. Mónica Andrade DIRECTOR DE TESIS | _____ | _____ |
| Ing. José Usiña COLABORADORA DE TESIS | _____ | _____ |
| DOCUMENTALISTA SISBIB ESPOCH | _____ | _____ |
| NOTA DE TESIS | _____ | |

Yo, **SANTIAGO RAFAEL SÁNCHEZ GRANIZO** soy responsable de todas las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta tesis de grado y el patrimonio intelectual de la tesis de grado pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Santiago Rafael Sánchez Granizo

DEDICATORIA

El presente trabajo demuestra la dedicación y el esfuerzo que realice para así compensar a los que confiaron en mí. A todos aquellos seres que por ese sentimiento al cual llamamos amor, me brindan su apoyo incondicional. A ellos mi trabajo. A mis padres Héctor y Carmen, les entrego la contestación al esfuerzo que han realizado para que yo alcance un objetivo más. Los amo con todo mi corazón.

A Dios por permitirme alcanzar este momento tan importante en mi vida. Por los momentos difíciles que me han enseñado a valorar cada día más lo que tengo.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme la bendición y la fuerza para alcanzar una meta más en mi vida, por las palabras de aliento, por el apoyo, los deseos de superación que recibí de toda mi familia, a mis padres Héctor y Carmen, mi hermano Héctor, mi sobrino Alejandro, quienes son lo más importante para mí. Ellos con su confianza, amor incondicional son el pilar fundamental para que yo haya alcanzado este logro en mi vida.

Al GAD Municipal del cantón Penipe, quienes auspiciaron mi investigación y me brindaron el apoyo necesario, en especial al Sr. Orozco responsable a cargo del agua potable y al Alcalde Velasteguí por abrirme las puertas del Municipio.

Un sincero agradecimiento y reconocimiento al Ing. José Usiña y a la Ing. Mónica Andrade quienes me ayudaron a lo largo de la carrera y compartieron sus conocimientos no tengo palabras para agradecer el apoyo brindado con lo cual ayudaron a culminar mi trabajo de investigación.

Santiago

TABLA DE CONTENIDOS

| | |
|--|-------|
| RESUMEN..... | xvii |
| SUMMARY..... | xviii |
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| CAPITULO I | 5 |
| 1 MARCO TEÓRICO REFERENCIAL | 5 |
| 1.1 El agua | 5 |
| 1.2 Agua cruda..... | 5 |
| 1.3 Fuentes de abastecimiento de agua | 5 |
| 1.3.1 <i>Tipos de fuentes de agua.....</i> | 6 |
| 1.4 Sistema de abastecimiento de agua potable | 7 |
| 1.5 Sistema de distribución..... | 7 |
| 1.6 Calidad del agua | 7 |
| 1.7 Agua potable | 7 |
| 1.8 Importancia de los análisis de laboratorio | 7 |
| 1.9 Muestreo | 8 |
| 1.9.1 <i>Tipos de muestras</i> | 8 |
| 1.10 Características físicas del agua potable..... | 9 |
| 1.10.1 <i>Turbidez.....</i> | 9 |
| 1.10.2 <i>Color.....</i> | 9 |
| 1.10.3 <i>Olor y sabor</i> | 10 |
| 1.10.4 <i>Temperatura</i> | 10 |
| 1.10.5 <i>Sólidos totales disueltos</i> | 10 |
| 1.11 Características químicas del agua potable..... | 10 |
| 1.11.1 <i>Potencial hidrógeno, pH.....</i> | 10 |
| 1.11.2 <i>Alcalinidad.....</i> | 11 |
| 1.11.3 <i>Dureza</i> | 11 |
| 1.11.4 <i>Nitratos</i> | 12 |
| 1.11.5 <i>Nitritos.....</i> | 12 |
| 1.11.6 <i>Amonio</i> | 12 |
| 1.11.7 <i>Fosfatos</i> | 12 |
| 1.11.8 <i>Dióxido de carbono.....</i> | 13 |
| 1.11.9 <i>Hierro y manganeso.....</i> | 13 |
| 1.12 Características microbiológicas del agua potable | 13 |

| | | |
|--------|--|----|
| 1.12.1 | <i>Coliformes totales y fecales</i> | 14 |
| 1.13 | Planta de tratamiento de agua potable | 14 |
| 1.13.1 | <i>Tratamiento del agua potable</i> | 14 |
| 1.14 | Parámetros de diseño | 28 |
| 1.14.1 | <i>Población y demanda de agua</i> | 28 |
| 1.14.2 | <i>Nivel de complejidad</i> | 29 |
| 1.14.3 | <i>Caudales de diseño</i> | 30 |
| 1.14.4 | <i>Cálculos de ingeniería</i> | 31 |
| 1.14.5 | <i>Procesos de potabilización</i> | 33 |
| | CAPÍTULO II | 54 |
| 2 | MARCO METODOLÓGICO | 54 |
| 2.1 | Localización | 54 |
| 2.2 | Muestreo | 54 |
| 2.2.1 | <i>Área de estudio</i> | 54 |
| 2.1.1 | <i>Toma de muestras</i> | 55 |
| 2.1.2 | <i>Manipulación de muestras</i> | 55 |
| 2.2 | Procedimiento para recopilación de información. | 55 |
| 2.3 | Metodología | 55 |
| 2.4 | Métodos | 56 |
| 2.5 | Técnicas | 57 |
| 2.6 | Datos experimentales | 59 |
| 2.6.1 | <i>Diagnóstico</i> | 59 |
| 2.6.2 | <i>Datos</i> | 59 |
| 2.7 | Parámetros fuera de norma | 60 |
| | CAPITULO III | 62 |
| 3 | MARCO DE RESULTADOS, DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS | 62 |
| 3.1 | Población y demanda de agua | 62 |
| 3.1.1 | <i>Nivel de complejidad</i> | 63 |
| 3.1.2 | <i>Proyección de caudal requerido dentro de 20 años</i> | 63 |
| 3.2 | Cálculos de ingeniería | 65 |
| 3.2.1 | <i>Caudal de captación</i> | 65 |
| 3.2.2 | <i>Caudal de tratamiento</i> | 65 |
| 3.2.3 | <i>Volúmenes de reserva</i> | 65 |
| 3.3 | Procesos de potabilización | 67 |
| 3.3.1 | <i>Vertedero rectangular</i> | 67 |
| 3.3.2 | <i>Coagulación</i> | 68 |

| | | |
|-------|---|-----|
| 3.3.3 | <i>Floculador</i> | 69 |
| 3.3.4 | <i>Sedimentador</i> | 80 |
| 3.3.5 | <i>Filtración</i> | 84 |
| 3.3.6 | <i>Desinfección</i> | 88 |
| 3.4 | Resultados | 90 |
| 3.4.1 | <i>Población y demanda de agua</i> | 90 |
| 3.4.2 | <i>Cálculos de ingeniería</i> | 90 |
| 3.4.3 | <i>Proceso de potabilización</i> | 91 |
| 3.4.4 | <i>Caracterización final del agua</i> | 95 |
| 3.4.5 | <i>Porcentaje de remoción</i> | 95 |
| 3.4.6 | <i>Graficas % de remoción</i> | 96 |
| 3.4.7 | <i>Análisis de costos</i> | 98 |
| 3.4.8 | <i>Propuesta de diseño</i> | 101 |
| 3.4.9 | <i>Análisis y discusión de resultados</i> | 102 |
| | CONCLUSIONES | 103 |
| | RECOMENDACIONES | 104 |
| | BIBLIOGRAFÍA | |
| | ANEXOS | |

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

| | |
|-----------------------|---|
| a | Número de lados por donde se recolecta el agua. |
| A_f | Área de filtración. |
| A_o | Área de cada orificio. |
| A_s | Área de sedimentación acelerada. |
| A_{Tc} | Área del tanque para la mezcla de cloro. |
| A_{to} | Área total de orificios. |
| B | Ancho del vertedero. |
| b_p | Espesor de las placas. |
| B_s | Ancho del sedimentador. |
| C | Concentración de acuerdo al test de jarras. |
| cmd | Caudal medio diario. |
| CMD | Caudal Máximo Diario. |
| CMH | Caudal máximo horario. |
| C_v | Profundidad del canal del vertedero. |
| D | Dosis de cloro necesario. |
| D_B | Dotación Básica. |
| D_F | Dotación futura. |
| D_t | Diámetro de la tubería. |
| e_p | Distancia entre las placas. |
| F | Número de Froude. |
| f_s | Factor de seguridad. |
| G | Gradiente de velocidad. |
| g | Gravedad. |
| H | Altura de la lámina de agua |
| h | Pérdida de energía en el resalto. |
| h_c | Profundidad crítica de flujo. |
| H_{Tc} | Altura del tanque para la mezcla de cloro. |
| h₁ | Profundidad Supercrítica. |
| h₂ | Profundidad Subcrítica. |
| hf₁ | Pérdida de carga continua en los canales. |
| hf₂ | Pérdida de carga continua en las vueltas. |
| K | Coeficiente de variación diaria. |
| k₁ | Coeficiente de variación diaria. |

| | |
|-----------------|--|
| k_2 | Coeficiente de variación horario. |
| l | Longitud del canal. |
| L_c | Longitud relativa corregida. |
| L_j | Longitud del resalto. |
| L_m | Longitud del salto. |
| l_p | Longitud de las placas. |
| L_r | Longitud relativa del sedimentador. |
| L_s | Longitud del área de sedimentación acelerada. |
| L' | Longitud relativa en la región de transición. |
| m | Número de compartimientos. |
| mg | Miligramos. |
| n | Periodo de tiempo. |
| N_c | Número de canales. |
| N_o | Población Actual. |
| N_p | Número de placas. |
| N_{Re} | Número de Reynolds. |
| N_t | Población Futura. |
| θ | Ángulo de inclinación. |
| P | Altura de la pared del vertedero. |
| Pa | Población Actual. |
| PAC | Policloruro de aluminio. |
| P_{Cl} | Peso de cloro necesario. |
| Pf | Población final. |
| Pft | Población futura total. |
| ρ | Densidad del PAC. |
| Q | Caudal de diseño. |
| q | Caudal por unidad de ancho. |
| $Q_{captación}$ | Caudal de captación. |
| $Q_{vertedero}$ | Caudal del vertedero. |
| Q_o | Caudal del orificio. |
| r | Indice de crecimiento poblacional. |
| R_H | Radio hidráulico del compartimiento entre pantallas. |
| γ | Peso específico del agua. |
| s | segundos. |
| S_c | Constante para cada tipo de módulo. |
| S_f | Superficie filtrante. |

| | |
|-----------------------|--|
| t | Tiempo de diseño. |
| T_f | Tasa de filtración. |
| t_{rp} | Tiempo de retención en las placas. |
| t_{rs} | Tiempo de retención en el tanque de sedimentación. |
| μ | Viscosidad dinámica del agua. |
| v | Viscosidad cinemática del fluido. |
| v₁ | Velocidad del agua en el salto. |
| v₂ | Velocidad del agua en el resalto. |
| V_e | volumen de emergencia. |
| V_H | Volumen del Hipoclorador. |
| V_i | volumen contra incendios. |
| V_m | Velocidad media en el resalto. |
| V_o | Velocidad en el orificio. |
| V_r | Volumen de regulación. |
| v_{so} | Carga Superficial después de instalar las placas. |
| v_{sc} | Velocidad crítica de sedimentación. |
| V_{Ts} | Volumen del Sedimentador. |
| V_{Tc} | Volumen del tanque para la mezcla de cloro. |
| x | Cantidad de PAC. |
| Z_s | Altura del sedimentador. |

INDICE DE TABLAS

| | | |
|--------------------|---|----|
| Tabla 1-1. | Tipo de agua según la dureza | 11 |
| Tabla 2-1. | Principales cationes y aniones que causan dureza..... | 11 |
| Tabla 3-1. | Clasificación de los Filtros..... | 25 |
| Tabla 4-1. | Métodos de desinfección Químicos y Físicos | 26 |
| Tabla 5-1. | Pérdidas Técnicas | 29 |
| Tabla 6-1. | Nivel de Complejidad del Sistema | 29 |
| Tabla 7-1. | Valores del coeficiente de variación diaria K | 30 |
| Tabla 8-1. | Factor de Seguridad | 33 |
| Tabla 9-1. | Propiedades Físicas del Agua a 1 At | 39 |
| Tabla 10-1. | Parámetros de Diseño de Sedimentadores Laminares | 44 |
| Tabla 11-1. | Parámetros de Diseño de las Placas planas de Asbesto – Cemento | 44 |
| Tabla 12-1. | Viscosidad Cinemática del agua a 1 Atmósfera..... | 46 |
| Tabla 13-1. | Valores de Sc Típicos | 47 |
| Tabla 14-1. | Parámetros de Diseño Lecho Filtrante..... | 48 |
| Tabla 15-1. | Número de Filtros en función del Área | 49 |
| Tabla 16-1. | Parámetros de diseño para drenaje por tuberías | 50 |
| Tabla 17-1. | Parámetros de diseño para orificios laterales | 50 |
| Tabla 1-2. | Parámetros de Caracterización físico-química y microbiológica del Agua..... | 56 |
| Tabla 2-2. | Métodos para adquisición de información y logro de objetivos | 57 |
| Tabla 3-2. | Métodos de análisis | 57 |
| Tabla 4-2. | Análisis Físico – Química del agua a tratar | 59 |
| Tabla 5-2. | Análisis Microbiológico del agua a tratar..... | 60 |

| | | |
|--------------------|--|-----|
| Tabla 6-2. | Datos para la prueba de jarras | 60 |
| Tabla 7-2. | Parámetros Físico-Químicos y Microbiológicos fuera de norma..... | 61 |
| Tabla 1-3. | Proyección de la población | 62 |
| Tabla 2-3. | Resultados de población y demanda de agua..... | 90 |
| Tabla 3-3. | Resultados de Cálculos de Ingeniería | 90 |
| Tabla 4-3. | Resultados vertedero rectangular | 91 |
| Tabla 5-3. | Resultados de la Coagulación | 91 |
| Tabla 6-3. | Resultados Floculador | 91 |
| Tabla 7-3. | Resultados de Sedimentador | 92 |
| Tabla 8-3. | Resultados de filtros lentos de grava-arena | 93 |
| Tabla 9-3. | Resultados Tanque de Cloración | 94 |
| Tabla 10-3. | Validación Final del sistema | 94 |
| Tabla 11-3. | Caracterización propiedades físico-químicas..... | 95 |
| Tabla 12-3. | Caracterización propiedades microbiológicas..... | 95 |
| Tabla 13-3. | % de Remoción | 95 |
| Tabla 14-3. | Costo vertedero Rectangular | 98 |
| Tabla 15-3. | Costo Floculador Hidráulico | 98 |
| Tabla 16-3. | Costo Sedimentador..... | 99 |
| Tabla 17-3. | Costo Filtro de arena..... | 99 |
| Tabla 18-3. | Tanque de cloración..... | 100 |
| Tabla 19-3. | Costo total. | 100 |
| Tabla 20-3. | Costo operación Diaria | 101 |

INDICE DE FIGURAS

| | | |
|--------------------|--|----|
| Figura 1-1. | Formación de flóculos por adsorción..... | 21 |
| Figura 2-1. | Formación de floculos por barrido..... | 22 |
| Figura 3-2. | Cantón Penipe | 54 |

INDICE DE GRÁFICOS

| | | |
|---------------------|--|----|
| Gráfica 1-3. | % de remoción pH | 96 |
| Gráfica 2-3. | % de remoción Nitritos | 96 |
| Gráfica 3-3. | % de remoción Fosfatos | 97 |
| Gráfica 4-3. | % de Coliformes Totales y Fecales..... | 97 |

INDICE DE ANEXOS

| | |
|-----------------|---|
| Anexo A. | NTE INEN 1 108:2011 |
| Anexo B. | Ficha tecnica PAC |
| Anexo C. | Caracterización físico-química |
| Anexo D. | Caracterización microbiológica |
| Anexo E. | Caracterización laboratorio certificado |
| Anexo F. | Caracterización final en un laboratorio certificado |
| Anexo G. | Vista tanques |
| Anexo H. | Caracterización físico-química |
| Anexo I. | Planta de tratamiento |

RESUMEN

El diseño de una planta potabilizadora de agua para la parroquia matriz del Cantón Penipe de la Provincia de Chimborazo, pretende ayudar a la población a consumir un agua segura que cumpla con la norma pertinente y presentar alternativas para un sistema de tratamiento de agua así como también mejorar la calidad de vida de los 1064 habitantes. En esta investigación se utilizó los métodos experimentales y analíticos utilizados en el laboratorio con muestras del agua a tratar, realizando análisis físico – químicos y microbiológicos, así como las pruebas necesarias para dosificar técnicamente coagulantes químicos con equipos específicos para pH; temperatura; gravimétricos para sólidos; espectrofométricos; incubación para microorganismos y materiales como: vasos de precipitación, pipetas graduadas, probetas, varillas de agitación. Para el muestreo del agua se usó botellas plásticas, frascos estériles para los exámenes microbiológicos y guantes. Los resultados obtenidos nos indica que los problemas que existen son de: nitritos, fosfatos, pH ácido, coliformes totales y fecales haciendo referencia a la norma INEN 1108, y siendo necesaria una dosificación técnica de Policloruro de aluminio(PAC) al 10%, junto con la precloración dosificada en una concentración de cloro de 0,3 ppm. A través de pruebas se concluye que al implementar el tratamiento propuesto permite obtener un agua segura y con parámetros en orden acordes a la norma correspondiente, los porcentajes de remoción tenemos que el pH tiene un % de remoción de 88,47, los nitritos tienen un % de remoción de 99.9, los fosfatos tienen un % de remoción del 87,5 y los coliformes totales y fecales tenemos una remoción del 100%. Se recomienda la aplicación del estudio realizado para que se implemente el diseño de una planta potabilizadora con los siguientes procesos: Captación, Coagulación, Floculación, Sedimentación, Filtración, Desinfección.

PALABRAS CLAVES: <PLANTA POTABILIZADORA> <CARACTERIZACIÓN DEL AGUA> <AGUA DE VERTIENTE> <NORMA TÉCNICA ECUATORIANA (INEN 1108-2011)> <ANÁLISIS DE AGUA> <PARÁMETROS DE CALIDAD> <PRUEBAS DE TRATABILIDAD> <DISEÑO DE UNA PLANTA>

SUMMARY

With the design of a water plant for Penipe canton of Chimborazo province it is to help its people to consume safe water that complies with the relevant standard and present alternatives to a system of water treatment as well as; improve the quality of life of the 1064 inhabitants there.

Experimental and analytical methods in the laboratory with samples of the water to be treated is used in this research, the analysis was performed physical – chemical and microbiological, and other test technically necessary for dosing chemical coagulants with specific equipment for pH; temperature; gravity for solids; spectrophotometry; incubation; for microorganisms and materials such as beakers, pipettes, stirring rods. For sampling were used plastic water bottles, sterile flasks for microbiological test and gloves.

The results indicate that the existing problems are: nitrites, phosphates, acid pH, total and fecal coliforms referring to the INEN 1108 standard dosage and technique polyvinyl aluminum (PAC) 10% still needed, together coloring the pre dosed at a concentration of 0.3 ppm chlorine. Through testing is concluded that the increase proposed treatment allows a secure and water parameters in order consistent with the relevant standard, the percentages of removal have the pH has a 87.5 percent removal and total coliforms and fecal are 100%. Collection, coagulation, flocculation, sedimentation, filtration and disinfection: the application of the study for the design of a water treatment plant with the following processes are implemented recommended.

KEYWORDS: <WATER TREATMENT PLANT> <CHARACTERIZATION OF WATER> <SPRINGWATER> <STANDARD TECHNICAL ECUADOR (INEN 1108-2011)> <ANALYSIS OF WATER> <PARAMETERS OF QUALITY> <TREATABILITY TESTS> <DESIGN OF A PLANT>

INTRODUCCIÓN

La ingeniería Química cumple un rol importante dentro de tratamiento de agua ya que esta requiere de procesos unitarios es por ello que los gobiernos actuales se preocupan más por la calidad de vida de los habitantes y es por ello que están intentando que la población tenga acceso a este servicio indispensable y vital que es el agua potable. Es por ello que se requiere encontrar el mejor diseño para la planta de tratamiento de agua potable tanto del punto de vista técnico y económico.

El agua uno de los principales constituyentes del mundo en que vivimos, el compuesto más importante y un recurso necesario para los seres vivos, es por ello que debe tener una óptima calidad para su consumo, por lo que el diseño de esta planta potabilizadora de agua ayudara a la población del Cantón Penipe, ya que por el momento se cuenta con una agua de vertiente que llega a una piscina de almacenamiento y se clora, está situada en el Barrio Mirador. Las condiciones climatológicas geográficas y geológicas son factores importantes para determinar la calidad del agua.

De acuerdo a la NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 1 108:2011 Agua potable requisitos, observamos que tenemos problemas en los parámetros de fosfatos 0,35 mg/L, nitritos 2,6 mg/L y el pH 6,38 que no se encuentran dentro de los límites permitidos; es por ello que este proyecto de tesis está dirigido a mejorar la calidad del agua potable del cantón Penipe mediante el estudio para el diseño de un sistema de tratamiento.

De acuerdo al estado actual del agua a tratar la caracterización del agua se identificaron problemas con Materia orgánica, centrándose en los tanques de almacenamiento donde llega el agua de vertiente. Llegamos a establecer diferentes alternativas para alcanzar una agua que cumpla con la norma y así las exigencias establecidas, las alternativas a utilizar son una precloración, mezcla rápida con un vertedero rectangular para facilitar la acción del coagulante químico además de su dosificación adecuada, todo esto se alcanzó mediante simulaciones realizadas en el laboratorio de Análisis técnicos de la Facultad de Ciencias, con todos estos procesos debemos tener una planta con buenos resultados y que sea efectivamente viable económicamente a la Municipalidad.

ANTECEDENTES

El Cantón Penipe se encuentra ubicado en el noreste de la provincia de Chimborazo, a 22 km de distancia de la ciudad de Riobamba capital de la provincia. Limita al norte con la quebrada de los Motilones, al sur con Río Blanco al este desde Paila Cajas hasta la Laguna Enjallinado y al oeste con el río Chambo además está situado en las faldas del volcán Tungurahua el cual se encuentra en proceso eruptivo.

De acuerdo al último censo se registraron 6739 habitantes en todo el cantón, en la que 1.064 habitantes viven en el área urbana de la cabecera cantonal del mismo nombre y 5.675 habitantes en el área rural. El Cantón Penipe consta con una entidad de Obras Publicas encargada de administrar y distribuir el agua. En la actualidad los habitantes de la Parroquia Matriz del Cantón Penipe consumen agua de vertiente la cual está situada en el Barrio Mirador y cuenta solo con un tratamiento de cloro.

Esta agua es transportada por medio de tubos de PVC, recorriendo 1 km antes de llegar al tanque de almacenamiento para su posterior distribución y consumo. El caudal de estas vertientes abastecen satisfactoriamente a los habitantes y existen más vertientes las cuales pueden ser captadas cuando exista un crecimiento de población.

El Alcalde del Cantón Penipe, con el compromiso de velar por el desarrollo y bienestar de los pobladores del cantón, siendo una de las responsabilidades del gobierno local el proveer y garantizar el acceso a servicios básicos como agua potable y alcantarillado, que son aspectos fundamentales que contribuyen en los procesos de desarrollo local y territorial, mejorando los estándares de vida de la comunidad, me brinda la accesibilidad y el apoyo para la realización del proyecto para implementarlo en un futuro y mejorar la calidad de vida de la población del cantón.

JUSTIFICACIÓN

El agua es indispensable para nuestra vida y es por ello que debemos conservarla y cuidarla ya que es un recurso no renovable. Ahora la demanda del agua es primordial para la población por ello hay que dar un tratamiento adecuado para cumplir con los requisitos de la Norma Ecuatoriana del agua potable NTE INEN 1 108 y brindar a la población un servicio básico para satisfacer sus necesidades.

Las fuentes hídricas generan agua con diferentes tipos de impurezas que se encuentran fuera de la norma por lo que esta agua si no es tratada puede causar enfermedades. Los principales problemas que se encuentran con frecuencia en el agua de vertiente son la dureza, el hierro, manganeso, sulfatos, problemas con materia orgánica para llevar a los valores permitidos de la norma mencionada NTE INEN 1 108 se debe de realizar la potabilización del agua.

El Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Penipe quiere brindar a sus habitantes un suministro de excelente calidad lo cual justifica la importancia de esta investigación y es por ello que se siente responsable de distribuir agua para el consumo humano por eso surge la necesidad de implementar una planta de tratamiento de agua potable que garantice que se proveerá a los habitantes de la parroquia matriz del cantón Penipe una agua que cumpla con lo permitido en la NTE INEN 1 108.

Como no se han realizado investigaciones para potabilización de agua en este cantón, este es el primer estudio sobre el sistema de agua potable que busca el bienestar de la población. Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores el Gobierno Autónomo descentralizado del cantón Penipe facilita los estudios para el diseño de una planta de tratamiento de agua potable es por ello que vamos a establecer los problemas que provocan que el servicio brindado no satisfaga las necesidades de los habitantes así contribuiremos al bienestar y progreso del cantón.

OBJETIVOS

GENERAL

Diseñar una planta potabilizadora de agua para la Parroquia Matriz del Cantón Penipe de la provincia de Chimborazo.

ESPECÍFICOS

- Caracterizar el estado actual del agua de vertiente en un laboratorio certificado por algún organismo nacional.
- Monitorear la fuente de abastecimiento y líneas de distribución de agua potable para la Parroquia Matriz del Cantón Penipe.
- Determinar los parámetros fuera de norma NTE INEN 1 108.
- Plantear un diseño de la planta de tratamiento de agua potable que sustentado el estudio técnico y económico.
- Validar el sistema de tratamiento propuesto mediante la caracterización del agua obtenida.

CAPITULO I

1 MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1 El agua

El agua es un líquido sin sabor, color, olor formado por hidrogeno y oxígeno, en la naturaleza contiene sustancias disueltas, además, como productos del ciclo de hidrológico contiene otras diversas sustancias, así como los gases. Estas sustancias se identifican con frecuencia, como impurezas que contienen el agua. En la evaluación de la calidad del agua, generalmente las impurezas se clasifican como físicas, químicas y biológicas. El agua es el elemento vital usado en alimentación, higiene y actividades del ser humano, agricultura e industria. Por lo que las exigencias higiénicas son más rigurosas aunque están siendo cada vez menos satisfechas por su contaminación, por lo que se reduce la cantidad y calidad del agua disponible, así como sus fuentes naturales.

1.2 Agua cruda

Es el agua que se encuentra en la naturaleza y que no ha recibido ningún tratamiento para modificar sus características: físicas, químicas o microbiológicas. (NTE INEN, 2011, p.1).

1.3 Fuentes de abastecimiento de agua

Las fuentes de agua constituyen el elemento primordial en el diseño de un sistema de abastecimiento de agua potable y antes de dar cualquier paso es necesario definir su ubicación, tipo, cantidad y calidad. De acuerdo a la ubicación y naturaleza de la fuente de abastecimiento así como a la topografía del terreno, se consideran dos tipos de sistemas: los de gravedad y los de bombeo.

En los sistemas de agua potable por gravedad, la fuente de agua debe estar ubicada en la parte alta de la población para que el agua fluya a través de tuberías, usando solo la fuerza de la gravedad. En los sistemas de agua potable por bombeo, la fuente de agua se encuentra localizada en elevaciones inferiores a las poblaciones de consumo, siendo necesario transportar el agua mediante sistemas de bombeo a reservorios de almacenamiento ubicados en elevaciones superiores al centro poblado.

De acuerdo a la forma de abastecimiento se consideran tres tipos principales de fuente: aguas de lluvia, aguas superficiales y aguas subterráneas. (Bvsde, 2008, p.5).

1.3.1 Tipos de fuentes de agua

1.3.1.1 Agua de lluvia

La captación de agua de lluvia se emplea en aquellos casos en los que no es posible obtener aguas superficiales y subterráneas de buena calidad y cuando el régimen de lluvias sea importante. Para ello se utilizan los techos de las casas o algunas superficies impermeables para captar el agua y conducirla a sistemas cuya capacidad depende del gasto requerido y del régimen pluviométrico.

1.3.1.2 Aguas superficiales

Las aguas superficiales están constituidas por arroyos, ríos, lagos, etc. que discurren naturalmente en la superficie terrestre. Estas fuentes no son tan deseables, especialmente si existen zonas habitadas o de pastoreo animal aguas arriba. Sin embargo a veces no existe otra fuente alternativa en la comunidad, siendo necesario para su utilización, contar con información detallada y completa que permita visualizar su estado sanitario, caudales disponibles y calidad de agua.

1.3.1.3 Aguas subterráneas

Parte de la precipitación en la cuenca se infiltra en el suelo hasta la zona de saturación, formando así las aguas subterráneas. La explotación de estas dependerá de las características hidrológicas y de la formación geológica del acuífero. La captación de aguas subterráneas se puede realizar a través de manantiales, galerías filtrantes y pozos. Las aguas subterráneas constituyen la principal fuente de abastecimiento en nuestro país. Se forman a partir del agua que precipita y percola al suelo, por acción de la gravedad hasta alcanzar un estrato impermeable y construir un acuífero que presente una buena calidad de agua, libre de sólidos suspendidos. También es común que estén libres de patógenos. Por ello no requiere grandes sistemas de potabilización y la simple desinfección es suficiente.

La calidad de los acuíferos depende de la capacidad del agua para disolver compuestos del suelo mientras fluye al infiltrarse o durante su almacenamiento entre los que se encuentran cationes (calcio, magnesio, sodio, potasio, hierro y manganeso) y aniones (carbonatos, bicarbonatos, sulfatos y cloruros). Estos componentes se reflejan en problemas para el abastecimiento como los

que ocurren por las aguas duras, conductividad elevada y alteraciones estéticas ocasionadas por el hierro (Fe) y manganeso (Mn). (Bvsde, 2008, p.6)

1.4 Sistema de abastecimiento de agua potable

El sistema incluye las obras y trabajos auxiliares construidos para la captación, conducción, tratamiento, almacenamiento y sistema de distribución. (NTE INEN, 2011, p.1)

1.5 Sistema de distribución

Comprende las obras y trabajos auxiliares construidos desde la salida de la planta de tratamiento hasta la acometida domiciliaria. ((NTE INEN, 2011, p.1))

1.6 Calidad del agua

La calidad del agua depende del propósito para que vaya a ser usada la misma, pero los principales motivos para el tratamiento son la salud y el aspecto. La calidad del agua depende de varias características como las características hidrológicas, la fisicoquímica y la biología de agua a que se refiera. El agua debe cumplir con una norma y en nuestro país es con la NTE INEN 1 108 la cual nos asegura un agua de calidad para consumo humano.

1.7 Agua potable

Es el agua cuyas características físicas, químicas microbiológicas han sido tratadas a fin de garantizar su aptitud para consumo humano. Agua que se puede consumir o beber sin que exista peligro para la salud con exigencias higiénicas rigurosas, enviada desde las plantas potabilizadoras a través de una red de distribución. El agua potable se utiliza para todos los usos domésticos y se le puede dar al agua un mejor tratamiento para ser utilizada con otros fines como agua envasada.

1.8 Importancia de los análisis de laboratorio

Los análisis del agua en el laboratorio se llevan a cabo por varios motivos. Para ayudar a fomentar una opinión acerca de lo apropiado que sea el agua de un abastecimiento para el uso público. Por esto se debe considerar diversos factores; si es apta para el consumo humano, según lo revela la presencia o ausencia de contaminación, si es corrosiva para la tubería metálica o es capaz de formar incrustaciones en sistemas de agua fría o caliente.

Si es atractiva o agradable en su apariencia y sabor; si es eficaz para usarse en el lavado doméstico de ropa; o si puede usarse en las industrias. Son importantes los análisis frecuentes de laboratorio para vigilar los procesos de tratamiento de agua y asegurar un efluente satisfactorio en todo momento. Las diferentes pruebas son realmente recursos que completan y amplían los sentidos humanos.

Los análisis de laboratorio se clasifican en: análisis físicos, análisis químicos, análisis bacteriológicos y análisis microscópicos. Los análisis físicos calculan y registran todas las propiedades que puedan ser observadas por los sentidos. Los análisis químicos identifican las cantidades de materia mineral y orgánica que existe en el agua y que puede afectar gravemente su calidad, proporcionando datos acerca de contaminaciones o mostrando las variaciones ocasionadas por el tratamiento, lo cual es indispensable para inspeccionar un proceso de tratamiento de agua. Los análisis bacteriológicos advierten la presencia de bacterias que son causantes de la contaminación y consiguientemente la calidad de agua para consumo.

Los análisis microscópicos suministran información relativa de las proliferaciones en el agua que frecuentemente son los causantes de sabores y olores desagradables u obstrucción de los filtros. (American Water Works Association, 1968, p. 40).

1.9 Muestreo

Este proceso se lleva a cabo con mucho cuidado, ya que de los resultados del muestreo realizado depende la selección de las distintas etapas de tratamiento.

1.9.1 Tipos de muestras

1.9.1.1 Muestra Simple o Puntual

Aquella que representa la composición del cuerpo de agua original para el lugar, tiempo y circunstancias específicas en las que se realizó su captación. Un cuerpo de agua puede estar debidamente interpretado por este tipo de muestreo, en el caso de algunas aguas de suministro, aguas superficiales y pocas veces de efluentes residuales. Es necesario escoger los intervalos de muestreo de acuerdo con la frecuencia esperada de los cambios, que puede variar desde tiempos tan cortos como 5 minutos hasta 1 hora o más. Cuando la composición de las fuentes varía en el espacio más que en el tiempo, se necesita tomar las muestras en los sitios indicados.

1.9.1.2 Muestras Compuestas

Es una combinación de muestras sencillas o puntuales tomadas en el mismo sitio durante distintos tiempos. En la mayoría de los casos se utilizan para observar concentraciones promedio, usadas para calcular las respectivas cargas o la eficiencia de una planta de tratamiento de aguas residuales.

1.9.1.3 Muestras Integradas

Se refiere a las mezclas de muestras puntuales tomadas simultáneamente en distintos puntos, o lo más cercanas posible las cuales son analizadas. La necesidad de muestras integradas también se puede presentar si se propone un tratamiento combinado para varios efluentes residuales separados, cuya interacción puede tener un efecto significativo en la tratabilidad o en la composición.

1.10 Características físicas del agua potable

En la provisión de agua se debe tener especial cuidado con estas características las cuales son el sabor, olor, color, turbidez, temperatura y sólidos totales disueltos del agua que se brinda.

1.10.1 Turbidez

Es una expresión de la propiedad o efecto óptico causado por la dispersión e interferencia de los rayos luminosos que pasan a través de una muestra de agua; en otras palabras es la propiedad óptica de una suspensión que hace que la luz sea remitida y no transmitida a través de la suspensión; los valores de turbidez sirven para establecer el grado de tratamiento requerido por una fuente de agua cruda, su filtrabilidad, la efectividad de los procesos de coagulación, sedimentación así como para determinar la potabilidad del agua.

Es importante considerarla porque afecta a la calidad estética del agua y puede generar rechazo al consumidor también puede reducir la eficiencia del proceso de desinfección protegiendo a microorganismos de un contacto directo.

1.10.2 Color

Las causas más comunes del color del agua son la presencia de hierro y manganeso coloidal o en solución; el contacto con el agua con desechos orgánicos, hojas, madera, raíces, en diferentes estados de descomposición, y la presencia de taninos, ácido húmico y algunos residuos industriales.

El color natural en el agua existe principalmente por efecto de partículas coloidales cargadas negativamente; debido a esto, su remoción puede lograrse con ayuda de un coagulante de una sal de ion metálico como el Aluminio o el Hierro.

1.10.3 Olor y sabor

Con frecuencia ocurren juntos y en general son prácticamente indistinguibles. Muchas son las causas y entre las más comunes tenemos materia orgánica en solución, diferentes tipos de algas, hongos, cloruro de sodio, sulfato de sodio y magnesio, hierro y manganeso, fenoles, aceites, productos de cloro.

1.10.4 Temperatura

Es importante para diferentes procesos de tratamiento y análisis de laboratorio puesto que retarda o acelera la actividad biológica, absorción de oxígeno y dióxido de carbono de la atmósfera por el agua, influye en la proliferación de algas, precipitación de compuestos, procesos de mezcla rápida, floculación, sedimentación, filtración y desinfección por cloro.

1.10.5 Sólidos totales disueltos

Se define como la materia que permanece como residuo después de evaporación y secado a 103°C. El valor de los sólidos totales incluye material disuelto y no disuelto. El incremento de peso, sobre el peso inicial, representa el contenido de sólidos totales o residuo total. (ROMERO J. 2006. P. 111).

1.11 Características químicas del agua potable

Los múltiples compuestos químicos disueltos en el agua pueden ser de origen natural o industrial y serán benéficos o dañinos de acuerdo a su composición y concentración.

1.11.1 Potencial hidrógeno, pH

Es un término que expresa la intensidad de las condiciones ácidas o básicas de una solución en este caso el agua, mediante la concentración del Ion hidrógeno. El pH. Juega un papel importante en los procesos de potabilización, como la coagulación, la desinfección por cloro, el ablandamiento y el control de corrosión. (Aguas sanitarias, 2006, p.2).

1.11.2 Alcalinidad

Puede definirse como su capacidad para neutralizar ácidos, como su capacidad para reaccionar con iones hidrógeno, como su capacidad para aceptar protones o como la medida de su contenido total de sustancias alcalinas (OH^-) la alcalinidad; se debe generalmente a la presencia de tres clases de compuestos q son Bicarbonatos, carbonatos, hidróxidos. (ROMERO J, 2006, p.119).

1.11.3 Dureza

Se consideran aguas duras aquellas que requieren grandes cantidades de jabón para generar espuma y producen incrustaciones en las tuberías de agua caliente. La dureza se expresa en mg/L como CaCO_3 . El agua según la dureza se puede clasificar en cuatro tipos.

Tabla 1-1. Tipo de agua según la dureza

| CONCENTRACIÓN | AGUA |
|---------------|-------------------|
| 0-75 mg/L | Blanda |
| 75-150mg/L | Modernamente dura |
| 150-300mg/L | Dura |
| Menor 300 | Muy dura |

Realizado por: SÁNCHEZ, Santiago 2015

La dureza es causada por los iones metálicos divalentes, capaces de reaccionar con el jabón para formar precipitados y con ciertos aniones presentes en el agua para formar incrustaciones. En general, la dureza es igual a la concentración de cationes polivalentes del agua. Los principales cationes y aniones asociados con ellos que causan dureza son: (ROMERO J, 2006, p.130).

**Tabla 2-1. Principales cationes
y aniones que causan dureza**

| CATIONES | ANIONES |
|------------------|------------------|
| Ca^+ | HCO_3^- |
| Mg^{++} | SO_4^- |
| Sr^{++} | Cl^- |
| Fe^{++} | NO_3^- |
| Mn^{++} | SiO_3^- |

Realizado por: SÁNCHEZ, Santiago 2015

1.11.4 Nitratos

La presencia de nitratos no es extraña, en el agua especialmente en aguas de pozo se encuentran altas concentraciones de nitratos por la descomposición de la materia orgánica y los fertilizantes utilizados en zonas rurales.

El nitrógeno en forma de nitritos, tiene una toxicidad mayor que afecta al hombre y es por estos efectos adversos que su contenido debe ser vigilado en el agua de consumo. Se ha comprobado que altas concentraciones de nitratos en el agua produce cianosis o metahemoglobinemia, que afecta especialmente a los niños menores de 6 años. (Aguas sanitarias, 2006, p.2).

1.11.5 Nitritos

Los nitritos son compuestos no deseados en la composición de las aguas potables. La presencia de estos se debe a una oxidación incompleta del amoníaco o a la reducción de nitratos existentes en el agua. El agua que contenga nitritos puede considerarse sospechosa de una contaminación reciente por materias fecales. Es recomendable la ausencia de nitritos en un agua de consumo; y como nivel máximo tolerable hasta 0,1 mg NO₂-/l. Cantidades superiores a ésta hacen suponer que el agua es rica en materia orgánica en vía de oxidación; la reducción de nitratos a nitritos puede llevarse a efecto por acción bacteriana o por acción de coagulantes como el PAC. (Navarra, 2000, p.3).

1.11.6 Amonio

La presencia de amoníaco indica una degradación incompleta de la materia orgánica. Se produce naturalmente por descomposición de la materia orgánica y se disuelve fácilmente en el agua y se evapora rápidamente. El amoníaco es fácilmente biodegradable; las plantas lo absorben con gran facilidad eliminándolo del medio, de hecho es un nutriente muy importante para su desarrollo. (ROMERO J, 2006, p.141).

1.11.7 Fosfatos

Los fosfatos y compuestos de fósforo son nutrientes de las plantas y conducen al crecimiento de algas en las aguas superficiales; se encuentran en las aguas naturales en pequeñas concentraciones. En lo referente a las aguas de consumo humano, un contenido elevado modifica las características organolépticas y dificulta la floculación - coagulación en las plantas de tratamiento. Los fosfatos existen en forma disuelta, coloidal o sólida. Antes de realizar un análisis, por tanto, es importante considerar qué tipo de fosfatos deberán determinarse. (Navarra, 2000, p.2).

1.11.8 Dióxido de carbono

Es uno de los gases menores presentes en la atmósfera y es un producto terminal de la descomposición biológica de carácter anaerobio. La presencia de dióxido de carbono, es significativamente, porque afecta el pH del agua, es corrosivo para muchos sistemas de tubería y afecta a la dosificación que se necesita fijar, cuando se hace el tratamiento químico al agua.

1.11.9 Hierro y manganeso

Tanto el hierro como el manganeso crean serios problemas en aguas de servicio público, siendo mayores los inconvenientes cuando se trata de aguas subterráneas; en las aguas no tiene efectos de salubridad, pero afecta el sabor, produce manchas indelebiles en los aparatos sanitarios, interfiere en el lavado de ropa y se deposita en la red de distribución causando ocasionalmente obstrucciones y alteraciones en la turbiedad y el color.

El hierro y el manganeso entran en solución generalmente en forma bivalente (Fe^{++} , Mn^{++}); ambos están presentes en forma insoluble en la mayoría de los suelos y de allí pueden pasar al agua por conversión a una forma soluble, cosa que se logra con ayuda del CO_2 . Cuando el agua cruda contiene cantidades de hierro y manganeso por encima de los límites permisibles, es posible eliminarlas mediante aeración, floculación y filtración. (Aguas sanitarias, 2006, p.3)

1.12 Características microbiológicas del agua potable

El agua contiene suficientes sustancias nutritivas para permitir el desarrollo de diferentes microorganismos. Muchas de las bacterias provienen del contacto con el aire, el suelo, animales o plantas vivas o en descomposición, fuentes minerales y materia fecal. La calidad y cantidad de microorganismos va acompañando de las características físicas y químicas del agua, ya que cuando el agua tiene temperaturas templadas y materia orgánica disponible, la población crece y se diversifica.

Los microorganismos ejercen dos tipos de influencia con respecto a la producción de turbiedad y color. Primero, debido a su presencia como partículas en suspensión o como productores de pigmentos solubles, y segundo, indirectamente por la interferencia que causan en los procesos, ya sea por alteración del pH, aumento de lodos sedimentados u obstrucción de los filtros.

1.12.1 Coliformes totales y fecales

La presencia de estos microorganismos puede ser un riesgo para la salud y son muy comunes si el agua no tiene un tratamiento de desinfección. Son parámetros que indican si la muestra está contaminada por bacterias y el grupo coliforme incluye las bacterias de forma bacilar, aeróbicas y facultativas anaeróbicas, Gram negativas, no formadoras de esporas.

El grupo de Coliformes totales, incluye los géneros *Escherichia* y *Aerobacter*. La *Escherichia coli* es la bacteria indicadora por excelencia del grupo coliforme fecal. (ROMERO J, 2006, p.209).

1.13 Planta de tratamiento de agua potable

El tratamiento del agua potable depende de las características del agua cruda; es por ello que se realiza una serie de procesos y operaciones unitarias para obtener un agua de calidad y normada.

La calidad del agua cruda oscila grandemente de una fuente a otra, por ello el tratamiento del agua también varía. Para diseñar una planta de tratamiento eficiente y económico se necesita un estudio de ingeniería cuidadoso, basado en la calidad de la fuente y en la selección de los procesos y operaciones de tratamiento más adecuado para producir agua de calidad requerida.

El objetivo básico de diseño de una planta de purificación de agua es integrar, de la manera más económica, los procesos y operaciones para que cuando sea operada adecuadamente, pueda proveer sin interrupción el caudal de diseño y satisfacer los requerimientos de calidad del agua. (ROMERO J, 2006, p.15).

1.13.1 Tratamiento del agua potable

Después de obtener una fuente de agua, el tratamiento consta de las siguientes etapas; la captación, conducción, almacenamiento, tratamiento y distribución.

1.13.1.1 Captación

Aquí es la toma de agua previa al tratamiento, aquí tenemos un sistema de rejas y compuertas que retienen los materiales de gran tamaño para evitar que entren al acueducto o canal abierto que conduce el agua hacia el establecimiento potabilizador; el agua para potabilizar puede obtenerse de fuentes superficiales o fuentes subterráneas. (ROMERO, J. A., 2006, p.21)

1.13.1.2 Conducción

Es un sistema de accesorios que transportan el agua de la fuente de abastecimiento, hacia los tanques de almacenamiento, planta de tratamiento y distribución, Se debe realizar por medio de tuberías o por canales que puedan tener forma rectangular, los tipos de conducción más comunes son: por gravedad o por bombeo. (ROMERO J, 2006, p.21)

1.13.1.3 Mezcla rápida

Es una operación empleada en el tratamiento del agua con el fin de dispersar diferentes sustancias químicas y gases; el mezclador rápido tiene por lo general el propósito de dispersar rápida y uniformemente el coagulante a través de toda la masa o flujo de agua.

La principal consideración con respecto al diseño de mezcla rápida, radica en la importancia de dispersar uniformemente el coagulante en el agua cruda, de manera que evite el subtratamiento o el sobretratamiento. El tiempo y el grado de mezcla se han considerado los factores más importantes en el diseño; es necesario observar el mecanismo de la coagulación y la cinética de las reacciones de coagulación. Puede efectuarse mediante turbulencia, provocada por medios hidráulicos o mecánicos

Mezcladores rápidos mecánicos se emplean por lo regular en tanques que se proyectan generalmente de sección circular o cuadrada. Los mezcladores mecánicos en general consisten en hélices, paletas, turbinas u otros elementos similares acoplados a un eje de rotación impulsado por una fuerza motriz cualquiera. Los ejes giran a un número alto de revoluciones, lo cual agita el agua en forma violenta y propicia la mezcla rápida y uniforme del coagulante.

Mezcladores rápidos hidráulicos se utilizan cuando se dispone de suficiente cabeza o energía en el flujo de entrada. En general se usan resaltos hidráulicos, canaletas Parshall, tubos Venturi, dispersores de tubos perforados y tanques con baffles, para para disipar energía en turbulencia y aprovecharla para la mezcla del coagulante.

El mezclador hidráulico tiene la ventaja de no requerir equipo mecánico, consideración muy importante en el diseño de plantas para lugares en los que no se dispone de personal capacitado para mantenimiento ni de suministro apropiado de repuestos.

1.13.1.4 Coagulación-floculación

Es el proceso por el cual las partículas se aglutinan en pequeñas masas con peso específico superior al del agua llamadas floc. Dicho proceso se usa para:

- Remoción de turbiedad orgánica o inorgánica que no puede sedimentar rápidamente.
- Remoción de color.
- Eliminación de bacterias, virus y organismos patógenos susceptibles de ser separados por coagulación.
- Destrucción de plancton y algas en general.
- Eliminación de sustancias productoras de sabor y olor en algunos casos y de precipitados químicos suspendidos o compuestos orgánicos en otros.

1.13.1.4.1 Coagulación

Es el proceso por el cual se reducen las fuerzas repelentes existentes entre partículas coloidales para formar partículas mayores de buena sedimentación, la coagulación comienza en el mismo instante en que se agregan los coagulantes al agua, básicamente consiste en una serie de reacciones físicas y químicas entre los coagulantes. La coagulación puede definirse como un proceso unitario utilizado para causar la coalescencia o agregación de material suspendido no sedimentable y partículas coloidales del agua.

Coloides.- Son sólidos finamente divididos en el agua que no se sedimentan por la simple acción de la gravedad, pero se remueven mediante procesos de coagulación, filtración o acción biológica.

Dependiendo de su afinidad con el agua los coloides pueden ser **hidrofóbicos** (odio al agua) se obtienen casi siempre por medios físicos o químicos; no se dispersan espontáneamente en el agua e **hidrofílicos** (amantes al agua) reaccionan espontáneamente con el agua para formar suspensiones coloidales; en la coagulación los colides hidrofílicos reaccionan químicamente con el agua y los coagulantes. (ARBOLEDA J, 2000, p.148).

1.13.1.4.1.1 Coagulantes

Son aquellos compuestos de hierro y aluminio capaces de formar un floc y que pueden formar coagulación; ayuda al asentamiento de coloides que se unen, aumentan de peso y que se encuentran en suspensión. Las partículas coloidales producen turbidez y color del agua, estas tienen gran poder de adsorción, adsorbiendo iones del medio y cargándose negativamente. Los

coagulantes más empleados son el sulfato de aluminio, el sulfato ferroso, sulfato férrico, cloruro férrico y el policloruro de aluminio.

Tipos de coagulantes

Los diferentes tipos de coagulantes y los más usados en el tratamiento de agua son:

a) Sulfato de aluminio (Alumbre): Es el coagulante estándar empleado en tratamientos de agua, reacciona con la alcalinidad del agua y con los fosfatos. El producto comercial tiene la fórmula $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$, con masa molecular 600, se obtiene de la reacción mineral de bauxita o arcillas ricas en óxidos de aluminio Al_2O_3 con ácido sulfúrico. Presenta problemas de operabilidad y taponamientos de tuberías por la sedimentación de aluminio en el interior.

b) Sulfato ferroso: El sulfato ferroso comercial, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, se empaca como cristales o granos verdes fácilmente solubles en agua; se usa generalmente junto con la cal (CaO) o junto con el cloro para llevar a cabo una coagulación efectiva. El sulfato ferroso reacciona con la alcalinidad del agua para formar bicarbonato ferroso, $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$, el cual es bastante soluble. La reacción del FeSO_4 con la cal hidratada se ve favorecida a pH altos pero añade dureza al agua.

c) Sulfato férrico ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$): Disponible comercialmente en forma cristalina y puede dosificarse en seco o líquido. No es tan corrosivo pero debe manejarse con equipo resistente a la corrosión. Opera bien en un intervalo amplio de valores de pH y es bastante usado en aguas con alto contenido de manganeso.

d) Cloruro férrico (FeCl_3): Reacciona con la alcalinidad del agua o con cal para formar floc de hidróxido férrico. Se consigue en forma líquida o cristalina, aunque es barato su manejo resulta difícil a causa de su alta agresividad. Se usa en tratamiento de aguas residuales, pero produce buenos resultados en aguas subterráneas con alto contenido de hierro.

e) Policloruro de aluminio PAC: Es un coagulante inorgánico líquido, indicado principalmente para remover materia coloreada y coloidal en suspensión en sistemas acuosos, plantas potabilizadoras de agua, afluentes y plantas de tratamiento de efluentes líquidos industriales, como reemplazo de sulfato de aluminio, cloruro férrico y otras sales inorgánicas.

Cuando se adiciona al agua produce una serie de reacciones complejas donde los productos de hidrólisis son más eficaces que los iones mismos, reaccionan con la alcalinidad del agua y producen los hidróxidos de aluminio que son insolubles formando los precipitados.

En muchos casos elimina o al menos reduce notablemente la necesidad de químicos reguladores de pH, ayudas de coagulación y ayudas de filtración. Los beneficios de utilizar PAC son:

- Mayor potencia de coagulación.
- Mayor velocidad de coagulación y floculación.
- Deja menor residuo de aluminio.
- Mejora en la remoción de turbidez y color.
- Aumento en la remoción de carbón orgánico total.
- Menor turbidez en la filtración.
- Reducción en la frecuencia de retrolavados en los filtros.
- Reducción de lodos de un 25-75%.
- Menor costo de operación.

1.13.1.4.1.2 Factores que influyen en la coagulación

Es necesario tener en cuenta los siguientes factores con la finalidad de optimizar el proceso de coagulación, la interrelación entre cada uno de ellos permiten predecir cuáles son las cantidades de los coagulantes a adicionar al agua.

Tamaño de las partículas las partículas de diámetro superior a cinco micras, son demasiado grandes para ser incorporadas en el floc. Es por ello que si las partículas tienen diámetro entre una y cinco micras, sirven como núcleos de floc.

Influencia de pH es la variable más importante a tener en cuenta al momento de la coagulación, para cada agua existe un rango de pH óptimo para la cual la coagulación tiene lugar rápidamente, ello depende de la naturaleza de los iones y de la alcalinidad del agua.

El rango de pH es función del tipo de coagulante a ser utilizado y de la naturaleza del agua a tratar; si la coagulación se realiza fuera del rango de pH óptimo entonces se debe aumentar la cantidad del coagulante; por lo tanto la dosis requerida es alta. Para sales de aluminio el rango de pH para la coagulación es de 6.5 a 8.0 y para las sales de hierro, el rango de pH óptimo es de 5.5 a 8.5 unidades.

Temperatura la variación de 1°C en la temperatura del agua conduce a la formación de corrientes de densidad de diferentes grados que afectan a la energía cinética de las partículas en suspensión, por lo que la coagulación se hace más lenta; temperaturas muy elevadas desfavorecen a la

coagulación. Una disminución de la temperatura del agua en una unidad de decantación con lleva a un aumento de su viscosidad; esto explica las dificultades de la sedimentación de un floc.

Relación cantidad-tiempo la cantidad de coagulante es inversamente proporcional al tiempo de formación del floc.

Sales Disueltas las sales contenidas dentro del agua ejercen las siguientes influencias:

- Modificación del rango de pH óptimo.
- Modificación del tiempo requerido para la floculación.
- Modificación de la cantidad de coagulante requerido.
- Modificación de la cantidad residual del coagulante dentro del efluente.

Dosis del Coagulante la cantidad del coagulante a utilizar tiene influencia directa en la eficiencia de la coagulación. Alta cantidad de coagulante produce la inversión de la carga de la partícula, conduce a la formación de gran cantidad de microflóculos con tamaños muy pequeños cuyas velocidades de sedimentación son muy bajas, por lo tanto la turbiedad residual es elevada. Poca cantidad del coagulante, no neutraliza totalmente la carga de la partícula, la formación de los microflóculos es muy escasa, por lo tanto la turbiedad residual es igualmente elevada.

La selección del coagulante y la cantidad óptima de aplicación; se determina mediante los ensayos de pruebas de jarra; la selección del coagulante y la dosis juegan un rol muy importante sobre:

- La buena o mala calidad del agua clarificada.
- El buen o mal funcionamiento de los decantadores.
- Influencia de Mezcla

El grado de agitación que se da a la masa de agua durante la adición del coagulante, determina si la coagulación es completa; turbulencias desiguales hacen que cierta porción de agua tenga mayor concentración de coagulantes y la otra parte tenga poco o casi nada; la agitación debe ser uniforme e intensa en toda la masa de agua, para asegurar que la mezcla entre el agua y el coagulante haya sido bien hecho y que se haya producido la reacción química de neutralización de cargas correspondiente.

En el transcurso de la coagulación y floculación, se procede a la mezcla de productos químicos en dos etapas. En la primera etapa, la mezcla es enérgica y de corta duración llamado mezcla rápida; esta mezcla tiene por objeto dispersar la totalidad del coagulante dentro del volumen del agua a tratar, y en la segunda etapa la mezcla es lenta y tiene por objeto desarrollar los microflóculos.

Influencia de la Turbiedad la turbiedad del agua superficial es gran parte debido a partículas de lodos de sílice de diámetros que varían entre 0.2 a 5µm. La coagulación de estas partículas es muy fácil de realizar cuando el pH se mantiene dentro del rango óptimo. La variación de la concentración de las partículas permite hacer las siguientes predicciones:

Para cada turbiedad existe una cantidad de coagulante, con el que se obtiene la turbiedad residual más baja, que corresponde a la dosis óptima. Cuando la turbiedad aumenta se debe adicionar la cantidad de coagulante no es mucho debido a que la probabilidad de colisión entre las partículas es muy elevada; por lo que la coagulación se realiza con facilidad; por el contrario cuando la turbiedad es baja la coagulación se realiza muy difícilmente, y la cantidad del coagulante es igual o mayor que si la turbiedad fuese alta.

Cuando la turbiedad es muy alta, conviene realizar una presedimentación natural o forzada, en este caso con el empleo de un polímero aniónico. Es siempre más fácil coagular las aguas de baja turbiedad y aquellas contaminadas por desagües domésticos industriales, porque requieren mayor cantidad de coagulante que los no contaminados.

Sistema de Aplicación del Coagulante se considera que una reacción adecuada del coagulante con el agua se produce cuando:

La dosis del coagulante que se adicione al agua es en forma constante y uniforme en la unidad de mezcla rápida, tal que el coagulante sea completamente dispersado y mezclado con el agua.

El sistema de dosificación debe proporcionar un caudal constante y fácilmente regulable; la mejor mezcla es cuando el coagulante adicionado cae en su totalidad a la masa de agua. Esta condición se obtiene por medio de los equipos de dosificación tanto para los coagulantes al estado sólido y estado líquido, que deben encontrarse calibrados y comprobados en la práctica por medio de las pruebas de aforamiento.

1.13.1.4.1.3 Etapas o fases de la coagulación

El proceso de coagulación se desarrolla en un tiempo muy corto, en el que se presenta las siguientes etapas:

- Hidrólisis de los coagulantes y desestabilización de las partículas en suspensión.
- Formación de Compuestos químicos poliméricos.

- Adsorción de cadenas poliméricas por los coloides.
- Adsorción mutua de coloides.
- Acción de barrido

1.13.1.4.1.4 Tipos de coagulación

Se presentan dos tipos básicos de coagulación:

Por Adsorción: Se presenta cuando el agua presenta una alta concentración de partículas al estado coloidal; cuando el coagulante es adicionado al agua turbia los productos solubles de los coagulantes son absorbidas por los coloides y forman los flóculos en forma casi instantánea.

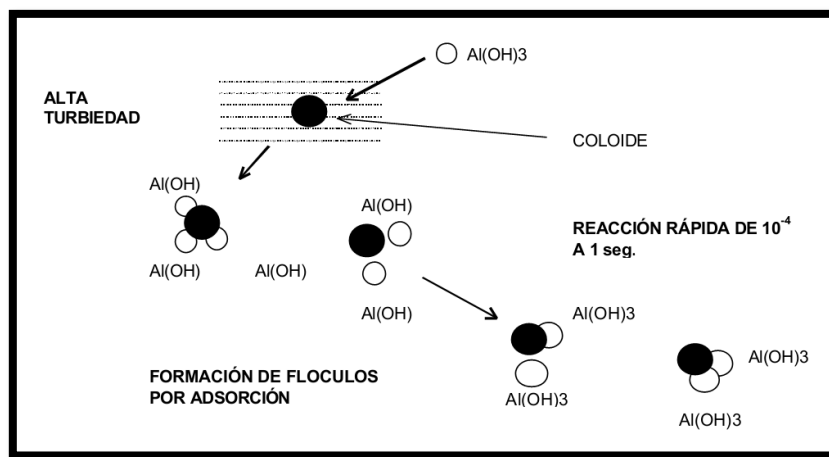


Figura 1-1. Formación de flóculos por adsorción

Fuente: es.slideshare.net/claudiaelisaRA/coagulacin1

Por Barrido: Este tipo de coagulación se presenta cuando el agua es clara (presenta baja turbiedad) y la cantidad de partículas coloides es pequeña; en este caso las partículas son entrampadas al producirse una sobresaturación de precipitado de sulfato de aluminio o cloruro férrico.

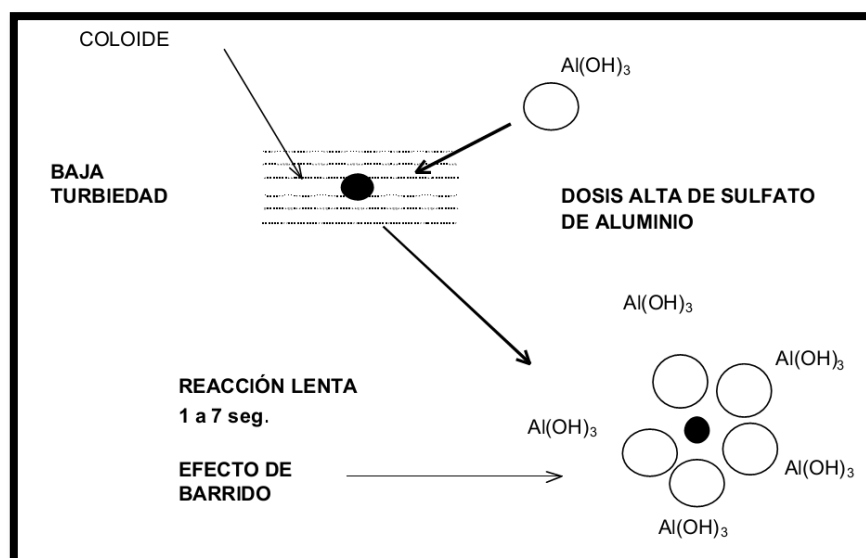


Figura 2-1. Formación de flóculos por barrido.

Fuente: es.slideshare.net/clauidaelisaRA/coagulacin1

1.13.1.4.2 Floculación

Es el proceso por el cual, una vez desestabilizados los colides se provee una mezcla suave de las partículas para incrementar la tasa de encuentros o colisiones entre ellas para formar coagulantes mayores, sin romper o disturbar los agregados preformados. La floculación es favorecida por el mezclado lento que permite juntar poco a poco los flóculos; un mezclado demasiado intenso los rompe y raramente se vuelven a formar en su tamaño y fuerza óptimos. La floculación no solo incrementa el tamaño de las partículas del flóculo, sino que también aumenta su peso. La floculación puede ser mejorada por la adición de un reactivo de floculación o ayudante de floculación. Por lo tanto el floculador es un tanque con algún medio de mezcla suave y lenta, con un tiempo de retención relativamente prolongado.

1.13.1.4.2.1 Factores que influyen en la floculación

Concentración y naturaleza de las partículas: la velocidad de formación del floc es proporcional a la concentración de partículas en el agua y su tamaño inicial.

Tiempo de detención: la velocidad de aglomeración de las partículas es proporcional al tiempo de detención, el cual es lo más cercano al determinado por medio de la prueba de jaras.

Gradiente de velocidad: factor proporcional a la velocidad de aglomeración de las partículas.

1.13.1.4.2.2 Parámetros de la floculación

Los parámetros que se caracterizan la floculación son los siguientes:

- Floculación Ortocinética: Se da por el grado de agitación proporcionada: Mecánica o Hidráulica.
- Gradiente de Velocidad: energía necesaria para producir la mezcla.
- Número de colisiones: choque entre microflóculos.
- Tiempo de retención: tiempo que permanece el agua en la unidad de floculación.
- Densidad y tamaño de floc.
- Volumen de lodos: los flóculos formados no deben sedimentar en las unidades de floculación.

1.13.1.4.2.3 Tipos de floculadores

La mezcla lenta para floculación se efectúa mecánicamente, usando rotores de paleta, o hidráulicamente, como resultado del movimiento del agua. Los más comunes son:

Los floculadores hidráulicos se usan para plantas pequeñas con caudales menores de 50L/s, los más comunes son los de flujo horizontal y los de flujo vertical. El floculador horizontal consiste en un tanque de concreto dividido por tabiques dispuestos de tal forma que el agua haga el recorrido de ida y vuelta alrededor de los extremos libres de los tabiques. En el floculador vertical el agua fluye hacia arriba y hacia abajo, por encima y por debajo de los tabiques.

Los floculadores mecánicos necesitan que se introduzca potencia al agua para asegurar mezcla lenta mediante agitadores mecánicos. El más común es el de paletas ya sean en eje horizontal o vertical, las cuales dan un movimiento rotatorio así como cierta turbulencia. (ROMERO J, 2006, p.84).

1.13.1.5 Sedimentación

Es la operación por la cual se remueven las partículas sólidas de una suspensión mediante la fuerza de gravedad; las actividades de operación son la regulación del caudal de entrada, purga de lodos, retiro de material flotante. Aquí tenemos diferentes dos son las formas de sedimentación utilizadas en la purificación del agua: sedimentación simple y sedimentación después de coagulación y floculación o ablandamiento.

La sedimentación simple es generalmente un tratamiento primario para reducir la carga de sólidos sedimentables antes de la coagulación; en estos casos se conoce como presedimentación. La

sedimentación después de la adición de coagulantes y de la floculación se emplea para remover los sólidos sedimentables producidos por el tratamiento químico, como en el caso de remoción de color y turbiedad o en el ablandamiento.

El sedimentador es un tanque de concreto o ladrillo, rectangular, en el cual se sedimenta la arena, grava y otras partículas finas que pueda tener el agua, este presenta cuatro zonas que son:

- **Zona de entrada:** permite una distribución uniforme del flujo, es la estructura de transición.
- **Zona de sedimentación:** para sedimentar las partículas necesita de un canal rectangular con volumen, longitud y condiciones de flujo adecuados.
- **Zona de salida:** puede ser un vertedero, canaletas o tubos que recolectan el efluente sin trastornar la sedimentación de las partículas depositadas.
- **Zona de recolección de lodos:** constituida con capacidad para depositar los lodos sedimentados, y realizar la evacuación periódica. (ROMERO J, 2006, p. 141).

1.13.1.5.1 Consideraciones relevantes para diseño de sedimentadores

- Tamaño y peso de las partículas.
- Forma de la partícula.
- Resistencia a la fricción del agua.
- Viscosidad.
- Profundidad del sedimentador.
- Sistema de entrada y de salida del agua.
- Métodos de operación.
- Tiempo de retención.

1.13.1.6 Filtración

La producción de agua clara es prerequisite para el suministro de agua segura y requiere filtración. Aunque la coagulación y la sedimentación remueven cerca del 90% de la turbiedad y el color, una cierta cantidad de floc pasa el tanque de sedimentación y se necesita su remoción. Para la clarificación final se usa filtración a través de medios porosos, que por lo general son arena o arena y antracita.

La filtración remueve el material suspendido, medido en la práctica como turbiedad, compuesto de floc, suelo, metales oxidados y microorganismos. Tradicionalmente en las plantas de tratamiento municipales se han utilizado filtros de arena con flujo descendente por gravedad.

Tabla 3-1. Clasificación de los Filtros

| VELOCIDAD DE FILTRACIÓN | MEDIO FILTRANTE USADO | SENTIDO DEL FLUJO | CARGA SOBRE EL LECHO |
|--|---|---|---------------------------------|
| Rápidos 120-360 m ³ /m ² /día | Arena (h=60-75 cm) | Ascendentes | Por gravedad Por presión |
| | Antracita(h=60-75 cm) | Descendentes | |
| | Mixtos: Antracita (35-50cm) Arena (20-35cm) | | |
| | Mixtos: Arena, Antracita, Granito | Flujo mixto | |
| Lentos 7-14 m ³ /m ² /día | Arena(h=60-100cm) | Descendente Ascendente Horizontal | Por gravedad |

Realizado por: Teoría y Práctica de la purificación del agua.

1.13.1.7 Desinfección

Los procesos de mezcla, coagulación, sedimentación y filtración remueven con mayor o menor eficiencia, la mayoría de las bacterias y virus presentes en el agua; pueden ser considerados como procesos preparatorios para la desinfección ya que cumplen objetivos como disminuir la carga bacteriana del agua y hacen más eficientes los métodos de desinfección. La desinfección es el término aplicado a aquellos procesos en los cuales se destruyeron microorganismos patógenos. El propósito primario de la desinfección del agua es impedir la diseminación de enfermedades hídricas. (ROMERO J, 2006, p. 271).

Tabla 4-1. Métodos de desinfección Químicos y Físicos

| MÉTODOS QUÍMICOS | DESCRIPCIÓN | EJEMPLOS |
|-------------------------|--|--|
| Cloro y sus derivados | Son los más empleados y tienen efecto residual | Compuestos de cloro, cloro gaseoso, dióxido de cloro |
| Bromo y sus derivados | Se emplea ocasionalmente | Bromo, óxidos de bromo |
| Yodo y sus derivados | Raras veces empleado | Yodo, hipoyodatos, yodatos |
| Sales metálicas | Se emplea para desinfectar alimentos y rara vez agua | Cobre, plata |
| Ozono | Después de la cloración es el método más frecuentemente empleado | gas ozono generado in situ |
| Métodos Físicos | Descripción | |
| Radiación Ultravioleta | Producida por lámparas que emiten radiación con una frecuencia de 254 nm | |
| Calor | Sistema empleado en procesos de pasteurización o en desinfección casera | |

Realizado por: SÁNCHEZ, Santiago 2015

1.13.1.7.1 Factores que afectan la eficiencia de un desinfectante químico

La eficiencia de los desinfectantes químicos está en función de parámetros tales como:

Tiempo de contacto y concentración del desinfectante: Mientras mayor sea el tiempo de contacto mayor es la efectividad del desinfectante. La demanda de desinfectante del agua es la necesidad de utilizar una cierta concentración de agente desinfectante para reaccionar con microorganismos patógenos, como también con otras sustancias presentes en el agua, como impurezas, metales solubles, partículas, materia orgánica. Esta demanda de agente desinfectante se debe satisfacer, antes de que exista una concentración residual de desinfectante. Por lo tanto la concentración total de agente desinfectante necesaria en el agua es igual a la concentración necesaria para satisfacer la demanda de agente desinfectante en función de las propiedades del agua, y la concentración necesaria de desinfectante residual. Además, la concentración residual se tiene que mantener el tiempo de contacto necesario para matar los microorganismos patógenos. Por

lo tanto para una desinfección efectiva es necesario suministrar una concentración mayor de desinfectante que la meramente requerida para matar los microorganismos patógenos.

El tiempo necesario para matar los microorganismos, se reduce al aumentar la concentración de desinfectante utilizado. El tiempo de contacto se utiliza normalmente para determinar cómo afecta un desinfectante en un tipo de microorganismo y bajo condiciones específicas.

El tipo de microorganismo: Los desinfectantes matan efectivamente muchos microorganismos patógenos, algunos de estos microorganismos son resistentes. Bacteria E.Coli, por ejemplo, es más resistente a los desinfectantes que otras bacterias y por lo tanto se utilizan como organismos indicadores. La ausencia de E.Coli no significa que el agua sea apta para su consumo. Por ejemplo los parásitos como Cryptosporidium y Giardia son resistentes al cloro.

La edad de los microorganismos: La afectividad de un cierto desinfectante también depende de la edad de los microorganismos. Las bacterias jóvenes son más fáciles de matar que las más adultas. Esto es debido a que las bacterias desarrollan una capa protectora de polisacáridos en la pared celular que las hace más resistentes a los desinfectantes.

Agua que requiere tratamiento: Las características químicas y físicas del agua influyen en la desinfección la presencia de hierro, manganeso, sulfuro de hidrogeno y nitratos normalmente reaccionan con los desinfectantes y suponen un impedimento para la desinfección. La turbidez del agua también reduce la afectividad de desinfección y los microorganismos pueden quedar protegidos del efecto de los agentes desinfectante.

Temperatura: El aumento de la temperatura produce un aumento de la velocidad de las reacciones y la desinfección. También puede provocar la volatilización o inactivación del agente desinfectante contra la desinfección.

pH del líquido suspendido: El pH es determinante en reacciones similares a las que ocurren con el cloro al formar los derivados activos el HOCl y ClO⁻.

1.13.1.8 Control final

Para consumir el agua potable, se debe realizar un control severo por químicos expertos, que analizan muestras tomadas en distintos lugares del sistema, diariamente se debe controlar cloro residual, turbiedad en las plantas de potabilización y se deben realizar exámenes bacteriológicos y

fisicoquímicos periódicos con una cantidad de análisis mensuales acorde a los habitantes de cada localidad.

1.13.1.9 Calidad del agua para consumo humano

El agua es indispensable para la vida, su calidad está íntimamente relacionada con el nivel de vida y con el nivel sanitario de un país. La gestión del agua es compleja, por lo que intervienen los municipios, las empresas abastecedoras, los laboratorios de control y las administraciones sanitarias. El agua de consumo se considera de buena calidad cuando es salubre y limpia, cuando no contiene microorganismos ni contaminantes a niveles de afectar la salud de los consumidores. Para ello, el agua se somete a un tratamiento de potabilización y a diversos controles sanitarios.

1.14 Parámetros de diseño

1.14.1 Población y demanda de agua

El diseño de la planta potabilizadora de agua no se realiza para satisfacer la población actual, se realiza con el fin que la planta pueda proveer del líquido vital mientras se da un crecimiento poblacional durante un periodo de tiempo entre 10 y 20 años. Para esto es necesario saber el consumo promedio diario anual que nos servirá para calcular el volumen del tanque de almacenamiento y para estimar máximo diario y horario, el consumo máximo diario se utiliza para el cálculo hidráulico de la línea de conducción y el consumo máximo horario nos ayuda al cálculo hidráulico de la línea de tratamiento y red de distribución. (**Ecuación 1**)

$$Pft = Pa(1 + rn)$$

Donde:

Pft: Población futura total

Pa: población Actual

r: Índice de crecimiento poblacional

n: Periodo de tiempo

1.14.1.1 Dotación básica

Es la cantidad mínima de agua requerida para satisfacer las necesidades básicas de un habitante sin considerar pérdidas. Cuando no tenemos registros de datos de consumo se asume el valor de las normas que se recomiendan para las comunidades.

1.14.1.2 Dotación futura

Es la cantidad máxima de agua requerida para satisfacer las necesidades básicas de un habitante considerando las pérdidas. (**Ecuación 2**)

$$DF = \frac{DB}{1 - \text{Pérdidas Técnicas}}$$

Donde:

DF: dotación futura

DB: dotación básica

Pérdidas técnicas

Tabla 5-1. Pérdidas Técnicas

| NIVEL DE COMPLEJIDAD | % MÁXIMO ADMISIBLE |
|----------------------|--------------------|
| Bajo | 40 |
| Medio | 30 |
| Medio alto | 25 |
| Alto | 20 |

Fuente: ROMERO, J. A. Purificación del Agua. Apéndices

1.14.2 Nivel de complejidad

En base a la población futura calculada, se determina el nivel de complejidad del sistema.

Tabla 6-1. Nivel de Complejidad del Sistema

| NIVEL | POBLACIÓN DE DISEÑO |
|------------|---------------------|
| Bajo | < 2500 |
| Medio | 2501 – 12500 |
| Medio Alto | 12501 – 60000 |
| Alto | > 60000 |

Fuente: ROMERO, J. A. Purificación del Agua. Apéndices

1.14.3 Caudales de diseño

1.14.3.1 Caudal medio diario (cmd)

Es la cantidad promedia de agua consumida diariamente en un año en la parroquia matriz del cantón Penipe. **(Ecuación 3)**

$$cmd = \frac{Pf * DF}{86400} + F$$

Donde:

cmd: caudal medio diario

Pf: Población final

DF: Dotación Futura

F: Factor de fugas

1.14.3.2 Caudal máximo diario (CMD)

Es la cantidad máxima consumida de agua en el año por la parroquia matriz del cantón Penipe en un día. **(Ecuación 4)**

$$CMD = K * cmd$$

Donde:

CMD: caudal máximo diario

K: coeficiente de variación diaria

cmd: caudal medio diario

Tabla 7-1. Valores del coeficiente de variación diaria K

| NIVEL DE COMPLEJIDAD | K |
|----------------------|-----|
| Bajo | 1,3 |
| Medio | 1,3 |
| Medio-alto | 1,2 |
| Alto | 1,2 |

Fuente: ROMERO, J. A. Purificación del Agua. Apéndices

1.14.3.3 Caudal máximo Horario (CMH)

Es la cantidad de agua requerida en el día de máximo consumo y la hora de máximo consumo para satisfacer las necesidades de la población de la parroquia matriz del cantón Penipe. **(Ecuación 5.)**

$$CMH = K_2 * CMD$$

Donde:

CMH: Caudal máximo horario

K₂: Coeficiente de variación horario

CMD: Caudal máximo diario

1.14.4 Cálculos de ingeniería

1.14.4.1 Caudal de captación

La estructura de la captación se la diseñará con una capacidad equivalente a 1,3 veces el caudal máximo diario (CMD). **(Ecuación 6)**

$$Q_{captación} = CMD * 1,3$$

1.14.4.2 Caudal de tratamiento

La planta de tratamiento se diseñará para un caudal equivalente a 1 veces el caudal máximo diario (CMD). **(Ecuación 7)**

$$Q_{tratamiento} = CMD * 1$$

1.14.4.3 Volúmenes de reserva

El volumen extra de almacenamiento que se sugiere es el 25% y estará compuesto de volumen de regulación, volumen de emergencia y volumen contra incendios.

1.14.4.3.1 Volumen de regulación

Es el volumen necesario para regular las aguas de acuerdo con los objetivos. **(Ecuación 8)**

$$Vr = 0,25 * cmd$$

Donde:

Vr: Volumen de regulación

Cmd: caudal medio diario

1.14.4.3.2 Volumen contra incendios

Se recomienda que el caudal contra incendios necesario, sea obtenido con la siguiente expresión. **(Ecuación 9)**

$$Vi = 50 * \sqrt{p}$$

Donde:

Vi: volumen contra incendios

P: población en miles

1.14.4.3.3 Volumen de emergencia

Se tomará el 25% del volumen de regulación para cubrir situaciones de emergencia. **(Ecuación 10)**

$$Ve = 0,25 * Vr$$

Donde:

Ve: volumen de emergencia

Vr: volumen de regulación

1.14.4.3.4 Volumen total

Se obtendrá al sumar los volúmenes anteriores. **(Ecuación 11)**

$$Vt = Vr + Vi + Ve$$

1.14.5 Procesos de potabilización

1.14.5.1 Vertedero rectangular.

1.14.5.1.1 Dimensionamiento del vertedero.

1.14.5.1.1.1 Caudal del vertedero

(Ecuación 12)

$$Q_{\text{vertedero}} = \frac{Q_{\text{captación}}}{N_c \times a \times l}$$

Donde:

Qcaptación: Caudal de Captación

Nc: Número de canales

a: Número de lados por donde se recolecta el agua

l: longitud del canal

1.14.5.1.1.2 Canal del vertedero

(Ecuación 13)

$$Cv = fs * H$$

Donde:

H: altura de la lámina de agua

fs: Factor de seguridad

Tabla 8-1. Factor de Seguridad

| NIVEL DE COMPLEJIDAD | Fs |
|----------------------|------|
| Bajo | 1.0 |
| Medio | 1.10 |
| Medio Alto | 1.15 |
| Alto | 2.0 |

Fuente: ROMERO, J. A. Purificación del Agua. Apéndices

1.14.5.1.1.3 Ancho del vertedero

(Ecuación 14)

$$Q_{\text{vertedero}} = 1,84 * B * H^{\frac{3}{2}}$$
$$B = \frac{Q}{1,84 * H^{\frac{3}{2}}}$$

Donde:

Q: caudal del vertedero

B: ancho del vertedero

H: altura de la lámina de agua

1.14.5.1.1.4 Caudal por unidad de ancho

(Ecuación 15)

$$q = \frac{Q_{\text{vertedero}}}{B}$$

Donde:

q: caudal por unidad de ancho

Q: caudal del vertedero

B: ancho del vertedero

1.14.5.2 Coagulación

La dosificación del policloruro de aluminio (PAC) se realizara con una solución de 10% de concentración con una bomba dosificadora. (Ecuación 16)

$$x = \frac{q * C}{60 * P * \rho}$$

Donde:

q: Caudal del vertedero

C: Concentración de acuerdo al test de jarras

P: Porcentaje de dilución

ρ: Densidad del PAC

1.14.5.3 .Floculación

1.14.5.3.1 Profundidad critica del flujo

Es la profundidad donde un determinado caudal transita por un canal con el mínimo de energía específica. **(Ecuación 17)**

$$h_c = \left(\frac{q^2}{g} \right)^{1/3}$$

Donde:

hc: profundidad crítica

q: Caudal por unidad de ancho

g: Gravedad

1.14.5.3.2 Longitud del salto

Es la distancia a la cual debe aplicarse el coagulante para asegurar una dispersión homogénea y continua del coagulante en toda la masa de agua cruda. **(Ecuación 18)**

$$L_m = 4,3 P^{0,1} h_c^{0,9}$$

Donde:

Lm: longitud del salto

P: Altura de la pared del vertedero

hc: Profundidad crítica de flujo

1.14.5.3.3 Profundidad Supercrítica

Cuando la profundidad del flujo es menor que la profundidad crítica, la velocidad será mayor que la velocidad crítica, y el flujo se denomina supercrítico. Cuando hay resalto, la profundidad del agua se relaciona con la profundidad crítica mediante la ecuación de White. **(Ecuación 19)**

$$h_1 = \frac{\sqrt{2}}{1,06 + \sqrt{\frac{P}{h_c} + 1,5}} h_c$$

Donde:

h₁: Profundidad supercrítica

P: Altura de la pared del vertedero

h_c = Profundidad crítica de flujo

1.14.5.3.4 Velocidad del agua en el salto

(Ecuación 20)

$$v_1 = \frac{q}{h_1}$$

Donde:

V_1 : velocidad en el salto

q : Caudal por unidad de ancho ($0.021 \text{ m}^3/\text{s}$)

h_1 : Profundidad supercrítica (0.01 m)

1.14.5.3.5 Número de Froude

Es un número que informa el estado del flujo hidráulico en canales abiertos. El número de Froude calculado deberá estar comprendido entre 4,5 y 9. (Ecuación 21)

$$F = \frac{v_1}{\sqrt{gh_1}}$$

Donde:

F : Número de froude

V_1 : Velocidad de agua en el salto

g : Gravedad

h_1 : Profundidad supercrítica

1.14.5.3.6 Profundidad subcrítica

Cuando la profundidad del flujo es mayor que la profundidad crítica, la velocidad será menor que la velocidad crítica, y el flujo se denomina subcrítica. (Ecuación 22)

$$h_2 = \frac{1}{2} \left(\sqrt{1 + 8F^2} - 1 \right) h_1$$

Donde:

h_2 : Profundidad Subcrítica

F : Número de Froude

h_1 : Profundidad supercrítica

1.14.5.3.7 Velocidad del agua en el resalto

(Ecuación 23)

$$v_2 = \frac{q}{h_2}$$

Donde:

V_2 : Velocidad del agua en el resalto

q: Caudal por unidad de ancho

h_2 : Profundidad Subcrítica

1.14.5.3.8 Pérdida de energía en el resalto

Cuando un flujo supercrítico se encuentra con una corriente Subcrítica, se presenta un choque debido a esto en el salto hidráulico ocurre pérdidas de energía y se calcula con la ecuación de Belanger. (Ecuación 24)

$$h = \frac{(h_2 - h_1)^3}{4h_1h_2}$$

Donde:

h: pérdida de energía en el resalto

h_2 : profundidad Subcrítica

h_1 : profundidad supercrítica

1.14.5.3.9 Longitud del resalto

Para un resalto estable se calcula con la ecuación de Smetana (Ecuación 25)

$$L_j = 6(h_2 - h_1)$$

Donde:

L_j : longitud de resalto

h_2 : Profundidad Subcrítica

h_1 : Profundidad Supercrítica

Velocidad media en el resalto

(Ecuación 26)

$$v_m = \frac{v_1 + v_2}{2}$$

Donde:

V_m: velocidad media

V₁: Velocidad de agua en el salto: (2.1 m/s)

V₂: Velocidad del agua en el resalto (0.23 m/s)

1.14.5.3.10 Velocidad media en el resalto

(Ecuación 26)

$$v_m = \frac{v_1 + v_2}{2}$$

Donde:

V_m: velocidad media

V₁: Velocidad del agua en el salto

V₂: Velocidad del agua en el resalto

1.14.5.3.11 Gradiente de Velocidad

Es un medio para calcular los requerimientos energéticos de mezcla. **(Ecuación 28)**

$$G = \sqrt{\frac{\gamma h}{\mu t}}$$

Donde:

G: Gradiente de velocidad

γ: Peso específico del agua

μ = Viscosidad dinámica del agua

t = Tiempo de mezcla

h = Pérdida de energía en el resalto

Tabla 9-1. Propiedades Físicas del Agua a 1 At

| TEMPERATURA °C | P Kg/m ³ | Γ kN/m ³ | μ 10 ⁻³ Pa s |
|-------------------|------------------------|------------------------|-------------------------------|
| 15 | 999,103 | 9,798 | 1,139 |
| 17 | 998,778 | 9,795 | 1,081 |
| 18 | 998,599 | 9,793 | 1,053 |
| 19 | 998,408 | 9,791 | 1,027 |
| 20 | 998,207 | 9,789 | 1,002 |

Fuente: ROMERO, J. A. Purificación del Agua. Apéndices

1.14.5.3.12 Dimensionamiento de la unidad de floculación

1.14.5.3.13 Volumen total de la unidad

(Ecuación 29)

$$Vf = 60 * q * Tr$$

Donde:

Vf: volumen total de la unidad

q: caudal por unidad de ancho

Tr: tiempo de retención

1.14.5.3.14 Ancho total de la unidad

(Ecuación 30)

$$B = \frac{Vf}{H.L}$$

Donde:

B: ancho de la unidad

Vf: volumen total de la unidad

H: Profundidad

L: longitud

1.14.5.3.15 Tiempo de retención en el primer canal

(Ecuación 31)

$$t = \frac{H * b * L}{q * 60}$$

Donde:

t: tiempo de retención en el primer canal

H: profundidad

b: ancho del tramo

L: longitud

q: caudal por unidad de ancho

1.14.5.3.16 Número de compartimientos

El número de compartimientos obtenemos con ecuación de Richter. **(Ecuación 32)**

$$m = 0,045 \sqrt[3]{\left(\frac{bLG}{q}\right)^2 * t}$$

Donde:

m: número de compartimientos

b: ancho del tramo

L: longitud

G: gradiente de velocidad en el último tramo

q: caudal por unidad de ancho

t: tiempo de retención en el primer canal

1.14.5.3.17 Espaciamiento entre pantallas

(Ecuación 33)

$$a = \frac{L - e(m - 1)}{m}$$

Donde:

a: espaciamiento entre pantallas

L: longitud

m: número de compartimientos

e: espesor

1.14.5.3.18 Velocidad en los canales verticales

(Ecuación 34)

$$vf_1 = \frac{q}{a * b}$$

Donde:

Vf₁: velocidad en los canales

q: caudal por unidad de ancho

a: espaciamiento entre pantallas

b: ancho del tramo

1.14.5.3.19 Velocidad en cada paso

(Ecuación 35)

$$vf_2 = \frac{2}{3} vf_1$$

Donde:

Vf₂: Velocidad en cada paso

Vf₁: Velocidad en los canales

1.14.5.3.20 Altura de paso

(Ecuación 36)

$$P_2 = \frac{q/vf_2}{b_2}$$

Donde:

P₂: altura de paso

q: caudal por unidad de ancho

Vf₂: Velocidad en cada paso

b: ancho del tramo

1.14.5.3.21 Extensión total de canales en el último tramo

(Ecuación 37)

$$l = 60 * vf_1 * t$$

Donde:

l: extensión total de canales en el último tramo

Vf₁: velocidad en los canales

t: tiempo de retención en el primer canal

1.14.5.3.22 Radio hidráulico del compartimiento entre pantallas

(Ecuación 38)

$$R_H = \frac{a * b}{2(a + b)}$$

Donde:

R_H : Radio hidráulico del compartimiento entre pantallas

a: espaciamento entre pantallas

b: ancho del tramo

1.14.5.3.23 Pérdida de carga continua en los canales

(Ecuación 39)

$$hf_1 = \left(\frac{n * vf_1}{R_H^{2/3}} \right)^2 * l$$

Donde:

hf_1 : pérdida de carga continua en los canales

n: Coeficiente de Mannig

Vf_1 : velocidad en los canales

R_H : Radio hidráulico del compartimiento entre pantallas

l: extensión total de canales en el último tramo

1.14.5.3.24 Pérdida de carga continua en las vueltas

(Ecuación 40)

$$hf_2 = \frac{(m + 1) (vf_1)^2 + m(vf_2)^2}{2g}$$

Donde:

hf_2 : Pérdida de carga continua en las vueltas

m: número de compartimientos

Vf_1 : Velocidad en los canales

Vf_2 : Velocidad en cada paso

g: Gravedad

1.14.5.3.25 Pérdida de carga total en el último tramo

(Ecuación 41)

$$hf = hf_1 + hf_2$$

Donde:

hf: Pérdida de carga total en el último tramo

hf₁: pérdida de carga continua en los canales

hf₂: Pérdida de carga continua en las vueltas

1.14.5.3.26 Volumen del tramo

(Ecuación 42)

$$Vt = HbL - e(m - 1) * b(H - P_2)$$

Donde:

Vt: volumen del tramo

H: profundidad

b: ancho del tramo

L: longitud

e: espesor

m: número de compartimientos

P₂: altura de paso

1.14.5.3.27 Comprobación del gradiente de velocidad total en el primer tramo

(Ecuación 43)

$$G_1 = \sqrt{\frac{\gamma}{\mu}} * \sqrt{\frac{hf * q}{Vt}}$$

Donde:

hf: Pérdida de carga total en el último tramo

q: caudal por unidad de ancho

Vt: Volumen del tramo

1.14.5.4 Sedimentador

Tabla 10-1. Parámetros de Diseño de Sedimentadores Laminares

| PARÁMETRO | VALOR |
|-----------------------------------|--|
| Tiempo de retención en las placas | 15 – 25 min |
| Número de Reynolds | < 500 (Fisherstrom) < 250 (Arboleda) < 200 (Montgomery) < 280 (Schulz y Okun) |
| Inclinación de las placas | 60° |
| Distancia entre placas | 5 cm |
| Profundidad | 3 – 5 m |
| Pendiente del fondo | > 2% |

Fuente: ROMERO, J. A. Purificación del Agua. Sedimentación

Tabla 11-1. Parámetros de Diseño de las Placas planas de Asbesto – Cemento

| PARÁMETRO | VALOR |
|-----------|--------|
| Longitud | 1,20 m |
| Ancho | 2,40 m |
| Espesor | 0,01 m |

Fuente: ROMERO, J. A. Purificación del Agua. Sedimentación

1.14.5.4.1 Carga Superficial después de instalar las placas

(Ecuación 44)

$$V_{so} = \frac{l_p}{t_{rp}}$$

Donde:

V_{so} : Carga superficial después de instalar las placas

l_p : Longitud de las placas

t_{rp} : Tiempo de retención en las placas

1.14.5.4.2 Área de Sedimentación acelerada

(Ecuación 45)

$$A_s = \frac{q}{v_{so} \text{sen} \theta}$$

Donde:

As: área de sedimentación acelerada

q: Caudal de diseño

V_{so}: Carga superficial después de instalar las placas

θ = Ángulo de inclinación

1.14.5.4.3 Longitud del área de Sedimentación acelerada

(Ecuación 46)

$$L_s = \frac{A_s}{B_s}$$

Donde:

Ls: longitud del área de sedimentación acelerada

As: área de sedimentación acelerada

B_s: Ancho del sedimentador

1.14.5.4.4 Longitud relativa del sedimentador

(Ecuación 47)

$$L_r = \frac{l_p}{e_p}$$

Donde:

Lr: longitud relativa del sedimentador

l_p: Longitud de las placas

e_p: Distancia entre placas

1.14.5.4.5 Longitud relativa en la región de transición

(Ecuación 48)

$$L' = 0,013 \frac{v_{so} \times e_p}{v}$$

Donde:

L': longitud relativa en la región de transición

V_{so}: Carga superficial después de instalar las placas

ν: Viscosidad cinemática del agua

e_p: Distancia entre placas

Tabla 12-1. Viscosidad Cinemática del agua a 1 Atmósfera

| TEMPERATURA °C | VISCOSIDAD CINEMÁTICA N 10 ⁻⁶ m ² /s |
|----------------|---|
| 15 | 1,140 |
| 17 | 1,082 |
| 18 | 1,054 |
| 19 | 1,029 |
| 20 | 1,004 |

Fuente: ROMERO, J. A. Purificación del Agua. Apéndices

1.14.5.4.6 Longitud relativa corregida

(Ecuación 49)

$$L_c = L_r - L'$$

Donde:

L_c: longitud relativa corregida

L_r: Longitud relativa del sedimentador

L': Longitud relativa en la región de transición

1.14.5.4.7 Velocidad crítica de Sedimentación

(Ecuación 50)

$$v_{sc} = \frac{S_c \times v_{so}}{\text{sen}\theta + L_r \cos\theta}$$

Donde:

V_{sc}: velocidad crítica de sedimentación

S_c: Placas planas paralelas

v_{so}: Carga superficial después de instalar las placas

θ: Ángulo de inclinación del elemento de sedimentación

L_r: Longitud relativa del sedimentador

Tabla 13-1. Valores de Sc Típicos

| TIPO DE MÓDULO | S _c |
|-------------------------|----------------|
| Placas planas paralelas | 1 |
| Tubos circulares | 4/3 |
| Tubos cuadrados | 11/8 |
| Placas onduladas | 1,30 |
| Otras formas tubulares | 1,33 – 1,42 |

Fuente: VILLEGAS, M. P. Purificación Aguas. Sedimentadores

1.14.5.4.8 Número de Reynolds

Se calcula para verificar que exista un flujo laminar en el sedimentador. **(Ecuación 51)**

$$N_{Re} = \frac{v_{so} \times e_p}{\nu}$$

Donde:

N_{Re}: Número de Reynolds

v_{so}: Carga superficial después de instalar las placas

e_p: Distancia entre placas

ν: Viscosidad cinemática del agua

1.14.5.4.9 Volumen del Sedimentador

(Ecuación 52)

$$V_s = L_s \times B_s \times Z_s$$

Donde:

V_s: Volumen del sedimentador

L_s: longitud del área de sedimentación acelerada

B_s: Ancho del sedimentador

Z_s: Altura del sedimentador

1.14.5.4.10 Tiempo de retención en el tanque de sedimentación

(Ecuación 53)

$$t_{rs} = \frac{V_s}{q}$$

Donde:

t_{rs} : tiempo de retención en el sedimentador

V_s : Volumen del sedimentador

q : Caudal de diseño

1.14.5.4.11 Número de placas

(Ecuación 54)

$$N_p = \frac{(L_s - l_p \cos \theta) \operatorname{sen} \theta + e_p}{e_p + b_p}$$

Donde:

N_p : Número de placas en el sedimentador

L_s : longitud del área de sedimentación acelerada

l_p : Longitud de las placas

θ : Ángulo de inclinación del elemento de sedimentación

e_p : Distancia entre placas

b_p : Espesor de las placas

1.14.5.5 Filtración

1.14.5.5.1 Dimensionamiento de Filtros Lentos

La finalidad primordial de los filtros será eliminar la materia orgánica. Los filtros de arena estarán compuestos de grava y arena.

Tabla 14-1. Parámetros de Diseño Lecho Filtrante

| PARÁMETROS DE DISEÑO | DIMENSIÓN |
|--|-----------|
| Profundidad del medio filtrante (arena) | 1,2 m |
| Profundidad del sistema de drenaje (grava) | 0,30 m |
| Altura de agua sobre lecho | 1 m |
| Granulometría del medio filtrante | 0,25 mm |

Fuente: ROMERO, J. A. Purificación del Agua. Apéndices

1.14.5.5.1 Superficie filtrante requerida

(Ecuación 55)

$$S_f = \frac{q}{T_f}$$

Donde:

Sf: Superficie filtrante

q: caudal a tratar

Tf: Tasa de filtración

Tabla 15-1. Número de Filtros en función del Área

| ÁREA m ² | NÚMERO DE FILTROS | DIMENSIONES | |
|---------------------|-------------------|-------------|-------|
| | | LONGITUD | ANCHO |
| 157,79 | 2 | 10 | 7,50 |

Fuente: ROMERO, J. A. Purificación del Agua. Apéndices

1.14.5.5.2 Área de filtración

(Ecuación 56)

$$A_f = \frac{S_f}{2}$$

Donde:

Af: área de filtración

Sf: Superficie filtrante

1.14.5.5.3 Tubería de entrada al filtro

(Ecuación 58)

$$D_t = \sqrt{\frac{4 * Q_i}{v * \pi}}$$

Donde:

Dt: Diámetro de la tubería

Qi: Caudal de diseño para cada filtro

v: Velocidad en la tubería

1.14.5.5.4 Sistema de drenaje

Tabla 16-1. Parámetros de diseño para drenaje por tuberías

| | |
|--|----------------------------|
| Velocidad máxima en el distribuidor | 0.3 m/s |
| Velocidad máxima en los laterales | 0.3 m/s |
| Área total de los orificios Área del lecho | (1,5 a 5)*10 ⁻³ |
| Área principal | 1.5 a 3 |
| Área lateral Área de orificios servida por el lateral | 2 a 4 |

Fuente: ROMERO, J. A. Purificación del Agua. Apéndices

Tabla 17-1. Parámetros de diseño para orificios laterales

| | |
|--------------------------------------|------------|
| Diámetro de orificios laterales | 1,2 mm |
| Espaciamiento de los laterales | 0,1 -0,3 m |
| Altura entre tubo y fondo del filtro | 3 - 5 cm |
| Velocidad en orificio | 3 – 5 m/s |

Fuente: ROMERO, J. A. Purificación del Agua. Apéndices

1.14.5.5.5 Área de cada orificio

(Ecuación 59)

$$Ao = \frac{\pi \times D^2}{4}$$

Donde:

Ao: Área de cada orificio

D: diámetro de orificios laterales

1.14.5.5.6 Caudal que ingresa a cada orificio

(Ecuación 60)

$$Qo = Ao \times vo$$

Donde:

Qo: caudal del orificio

Ao: Área de cada orificio

Vo: Velocidad en el orificio

1.14.5.5.7 Número de orificios laterales

(Ecuación 61)

$$\# \text{ laterales} = n * \frac{L}{el}$$

Donde:

L: Longitud total del filtro

el: Separación entre laterales

n: número de laterales por lado

1.14.5.5.8 Separación entre orificios

(Ecuación 62)

$$\# \text{ orificios/lateral} = 2 * \frac{Ll}{e}$$

Donde:

Ll: Longitud de cada lateral

e: Espacio entre orificios

1.14.5.5.9 Número total de orificios

(Ecuación 63)

$$\# \text{ total de orificios} = \# \text{ de laterales} * \# \text{ de orificios/laterales}$$

1.14.5.5.10 Área total de orificios

(Ecuación 64)

$$Ato = Ao * \# \text{ total de orificios}$$

Donde:

Ato: Área total de orificios

Ao: Área de cada orificio

1.14.5.5.11 Comprobación de cumplimiento con los parámetros

(Ecuación 65)

$$\frac{Ato}{Atf}$$

1.14.5.6 Desinfección

La desinfección del agua se la realizará en el tanque de cloración tiene un caudal de 4,56 L/s, se aplicara hipoclorito de calcio con una concentración de 0,3 mg/L para lo cual se requiere una caseta de cloración con un tanque para el hipoclorador.

1.14.5.6.1 Peso de cloro Necesario

(Ecuación 66)

$$P_{Cl} = \frac{Q * D * 86400}{1000}$$

Donde:

PCl: Peso del cloro necesario

Q: Caudal de diseño

D: Dosis de cloro necesario

1.14.5.6.2 Volumen del Hipoclorador

(Ecuación 67)

$$V_H = \frac{P_{Cl}}{5 C}$$

Donde:

VH: Volumen del hipoclorador

PCl: Peso de cloro necesario

C: Concentración de la solución

1.14.5.6.3 Tanque de contacto para la mezcla de cloro

(Ecuación 68)

$$V_{Tc} = Q t f_s$$

Donde:

Vtc: volumen del tanque de contacto

Q: Caudal de diseño

t: Tiempo de retención

fs: Factor de seguridad

1.14.5.6.4 Altura del tanque para la mezcla de cloro

(Ecuación 69)

$$H_{Tc} = \frac{V_{Tc}}{A_{Tc}}$$

Donde:

Htc: altura del tanque

VTc = Tanque de contacto para la mezcla de cloro

ATc = Área del tanque para la mezcla de cloro

CAPÍTULO II

2 MARCO METODOLÓGICO

2.1 Localización

Penipe es un cantón de la Provincia de Chimborazo en el Ecuador. Se sitúa entre los 2.500 y los 5.424 msnm, en el nevado El Altar. Se encuentra ubicado en el noreste de la provincia, a 22 km de distancia de la ciudad de Riobamba, con una extensión territorial de 240 km². Su latitud es 1° 34' sur y su longitud 78° 31' 60" oeste.

Limita al norte con la quebrada de los Motilones, al sur con Río Blanco al este desde Paila Cajas hasta la Laguna Enjallinado y al oeste con el río Chambo. La temperatura media es de 13-15 °C y presenta un clima templado en los valles, frío en los páramos, glacial en el área del nevado el Altar.

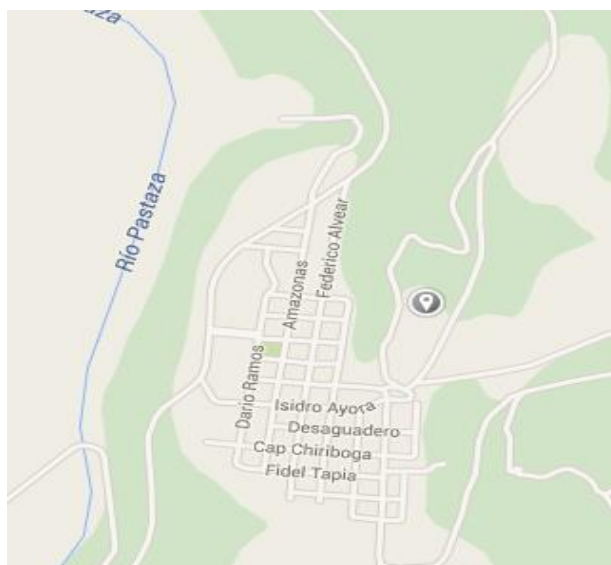


Figura 3-2. Cantón Penipe

Fuente: Google maps2015

2.2 Muestreo

2.2.1 Área de estudio

Todos los muestreos y el estudio se realizaron en la parroquia matriz del Cantón Penipe, Provincia de Chimborazo.

2.1.1 Toma de muestras

Para el muestreo de agua se extrajo una porción representativa de una masa de agua con el propósito de examinar diversas características. El agua que se tomo fue de lugares específicos del tanque de almacenamiento, muestras a la entrada del tanque para la captación de agua cruda, y a la salida del tanque.

Para obtener mezclas representativas se hizo mezclas de varias tomas recogidas a lo largo de un determinado período de tiempo y en muchos puntos distintos de toma. Para tomar la muestra en el envase respectivo, se lo lava con la misma agua que va a ser tomada. Depende del análisis a realizar para llenar el envase completamente esto se da en el caso de análisis orgánicos o dejar un espacio vacío para aireación o mezcla caso de análisis microbiológicos; para este caso también es necesario que el frasco sea estéril para obtener datos correctos.

2.1.2 Manipulación de muestras

Para manipular y transportar las muestras se utilizó un recipiente de plástico transparente, en el cual se llenó por completo con lo cual se evitó derrames o pérdida de muestra de la forma que no exista aire sobre la muestra, se llevó un registro de ubicación del punto de toma de muestra, fecha y hora de toma, y descripciones de utilidad.

2.2 Procedimiento para recopilación de información.

La toma de muestra es sistemática en aguas de vertiente, y de acuerdo a la norma INEN 2 169:98, “Agua. Calidad del agua. Muestreo. Manejo y conservación de muestras.”

- Se cuenta con la colaboración del encargado del agua del municipio
- Para la recolección de la muestra se las realizo en condiciones críticas, para obtener el caudal correcto para el diseño.

2.3 Metodología

A las muestras se realizó la caracterización físico-química y microbiológica, que consta de 19 parámetros especificados en la tabla 1-2.

Tabla 18. Parámetros de Caracterización físico-química y microbiológica del Agua

| No | PARÁMETRO | UNIDAD |
|----|--------------------|-----------|
| 1 | Ph | Unid |
| 2 | Turbiedad | UNT |
| 3 | Conductividad | μS/cm |
| 4 | Cloruros | mg/L |
| 5 | Dureza | mg/L |
| 6 | Calcio | mg/L |
| 7 | Magnesio | mg/L |
| 8 | Alcalinidad | mg/L |
| 9 | Bicarbonatos | mg/L |
| 10 | Sulfatos | mg/L |
| 11 | Amonios | mg/L |
| 12 | Nitratos | mg/L |
| 13 | Nitritos | mg/L |
| 14 | Hierro | mg/L |
| 15 | Fosfatos | mg/L |
| 16 | Sólidos totales | mg/L |
| 17 | Sólidos Disueltos | mg/L |
| 18 | Coliformes totales | UFC/100mL |
| 19 | Coliformes fecales | UFC/100MI |

Fuente: Norma INEN 1108:2011

2.4 Métodos

Todos los métodos utilizados para los diferentes análisis hacen referencia a los Métodos HACH, proporcionados por el mismo equipo y al APHA, AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. “Standar Methods for Examination of Water and Wastewater”.

Se realizó observaciones in situ para tener idea del agua a tratar y las condiciones del lugar, mientras que la parte experimental se la llevó a cabo en el Laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias con esto se pudo plantear diferentes alternativas para el diseño de la planta. Todas las muestras que se obtuvieron, se les realizó caracterización Físico-química y

microbiológica que consta de 19 parámetros diferentes. Se requirió procedimientos que son formulados para la adquisición de información y para lograr los objetivos.

Tabla 19. Métodos para adquisición de información y logro de objetivos

| MÉTODO | DESCRIPCIÓN |
|--------------|--|
| Inductivo | Parte de lo simple a lo complejo. Partiendo del diagnóstico nos ayudó a conocer los parámetros que no cumplen con las normativas para agua de consumo humano, mediante el análisis del agua cruda. |
| Deductivo | Deduce los del agua de deficiente calidad así como otros aspectos que no se están llevando a cabo correctamente, dando posibles soluciones. |
| Experimental | Se analizó los datos experimentales antes y después del proceso de potabilización mediante el uso de instrumentos confiables. |

Realizado por: SÁNCHEZ, Santiago 2015

2.5 Técnicas

Constituyen un conjunto de reglas, normas o protocolos para la obtención de un resultado determinado mediante prácticas de laboratorio en los cuales se enlistan y se describen los procedimientos que se utilizan en ensayos experimentales, así como técnicas e instrumentos implementados para obtener las diferentes variables del proceso en estudio. Entre los métodos de análisis se tiene:

Tabla 20. Métodos de análisis

| DETERMINACIÓN | ENSAYO | METODO/ REFERENCIA | DESCRIPCIÓN |
|---------------------------|----------------|-----------------------------------|---|
| Toma y manejo de muestras | | SM*1060 C NTE INEN 2 169:98 | Tomar cuatro muestras de agua cruda en frascos estériles y correctamente etiquetados. |
| pH | Electrométrico | SM 4500-H ⁺ B | Consta de un potenciómetro, un electrodo de vidrio, un electrodo de referencia, y un dispositivo de compensación de temperatura. Es de lectura directa. |
| Conductividad | | SM 2510 B | Utiliza un conductímetro y un electrodo de vidrio, son de lectura directa |
| Sólidos disueltos | | | |
| Turbiedad | Nefelométrico | SM 2130 B, HACH 8237 | Utiliza el turbidímetro. Es de lectura directa. |
| Cloruro | Volumétrico | SM 4500-Cl ⁻ B | 25ml de muestra+4 gotas de K ₂ CrO ₇ :Titular con AgNO ₃ (0,01N), de Amarillo a Ladrillo |

| | | | |
|--------------------|----------------------------------|---|--|
| Alcalinidad | | SM*2320 B | 25ml de muestra+2gotas de fenolftaleína: titular con H ₂ SO ₄ hasta incoloro+3gotas de naranja de metilo: titular con H ₂ SO ₄ , de Naranja a Rosado. |
| Dureza | | SM*2340 B y C | 25ml de muestra+1ml KCN+2ml Buffer pH10 pizca de negro de eriocromo: titular con EDTA (0,02M) de Rojo a Azul. |
| Calcio | | SM 3120 B | 25ml de muestra+1mlKCN+1mlNaOH+pizca de murexida: titular con EDTA(0,02M) de Rosado a Lila |
| Magnesio | | SM 3120 B | Se determina por formula y depende de resultados anteriores. |
| Bicarbonato | | SM 2320 B | 25ml de muestra+ fenolftaleína: titular con HCl de Rosa a incoloro, el color rosa indica la presencia de carbonatos. En enseguida se agrega unas gotas de azul bromofenol: titular con HCl de Azul a Verde |
| Sulfatos | Espectrofotométrico | Método HACH, Sulfaver en polvo | Llenar una cubeta con 10ml de muestra, Colocar los reactivos indicados en el manual, seleccionar el test correspondiente, leer un blanco y nuestra muestra en el espectrofotómetro. |
| Fosfatos | | Método HACH, PhosVer 3 en polvo | |
| Nitratos | | Método HACH, NitraVer 5 en polvo | |
| Nitritos | | Método HACH, Nitriver en polvo | |
| Hierro | | Método HACH, Hierro Ferrover en polvo. | |
| Amonio | | Método HACH, Ammonia Salycylate Reagent, ammonia Cyarunat | |
| Sólidos Totales | Cuantitativo/diferencia de pesos | SM 2540 C | Tarar una capsula, pesar la cápsula inmediatamente antes de usar y registrar el dato. Introducir la cápsula en la mufla previamente acondicionada pesar y realizar los cálculos. |
| Coliformes Fecales | Sembrado | SM 9222 D | Esterilizar el equipo, sembrar y leer a 24 h contando las colonias formadas. |
| Coliformes Totales | | SM 9222 B | |

Realizado por: SÁNCHEZ, Santiago, R. 2015

2.6 Datos experimentales

2.6.1 Diagnóstico

Para dar un diagnóstico se observó el lugar en el cual se encuentran los tanques de almacenamiento y como llega el agua a estos tanques desde la vertiente. Observamos que cuenta con dos tanques y en el transcurso del agua existe varios contaminantes que pueden afectar antes de que el agua sea entubada. Existe presencia de algas en los tanques de almacenamiento y en las tuberías de captación pudiendo afectar la calidad del agua.

Actualmente el único tratamiento que se le da al agua es el de clorar dos veces por semana el agua en la parroquia matriz del cantón Penipe lo que nos indica que ésta no cumple con la NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 1 108: 2011, cuarta revisión, Agua potable.

2.6.2 Datos

2.6.2.1 Caracterización inicial del agua

Para determinar la calidad de agua se realizó una caracterización físico-química y microbiológica, los datos se los muestran en las siguientes tablas.

Tabla 21. Análisis Físico – Química del agua a tratar

| PARÁMETROS | UNIDADES | LÍMITE PERMISIBLE NTE INEN 1108 | RESULTADO |
|---------------|----------------|------------------------------------|-----------|
| Ph | H ⁺ | 6,5-8,5 | 6,38 |
| Turbiedad | NTU | 5 | 1,2 |
| Conductividad | μS/cm | < 1250 | 454 |
| Cloruros | mg/L | 250 | 5,4 |
| Dureza | mg/L | 300 | 224,0 |
| Calcio | mg/L | 70 | 35,2 |
| Magnesio | mg/L | 30-50 | 33,0 |
| Alcalinidad | mg/L | 250-300 | 240,0 |
| Bicarbonatos | mg/L | 250-300 | 244,8 |
| Sulfatos | mg/L | 200 | 25,0 |
| Amonios | mg/L | < 0,50 | 0,030 |

| | | | |
|-------------------|------|--------|-------|
| Nitratos | mg/L | 50 | 2,4 |
| Nitritos | mg/L | 0,2 | 2,6 |
| Hierro | mg/L | 0,30 | 0,100 |
| Fosfatos | mg/L | < 0,30 | 0,960 |
| Sólidos totales | mg/L | 1000 | 520,0 |
| Sólidos Disueltos | mg/L | 500 | 281,0 |

Realizado por: SÁNCHEZ, Santiago, R. 2015

Tabla 22. Análisis Microbiológico del agua a tratar.

| PARÁMETROS | UNIDADES | LÍMITE PERMISIBLE NTE INEN 1108 | RESULTADO |
|-----------------------|-----------|------------------------------------|-----------|
| Coliformes fecales | UFC/100mL | Ausencia | 6 |
| Coliformes totales | UFC/100mL | Ausencia | 48 |

Realizado por: SÁNCHEZ, Santiago, R. 2015

2.6.2.2 Prueba de jarras

Tabla 23. Datos para la prueba de jarras

| N. DE MUESTRA | CÓDIGO | COAGULANTE, PPM | TURBIEDAD (NTU) |
|---------------|--------|-----------------|-----------------|
| 1 | PJ01 | 0,5 | 1,112 |
| 2 | PJ02 | 1 | 0,725 |
| 3 | PJ03 | 2 | 0,343 |
| 4 | PJ04 | 3 | 1,412 |
| 5 | PJ05 | 4 | 1,815 |

Realizado por: SÁNCHEZ, Santiago, R. 2015

2.7 Parámetros fuera de norma

Al comparar los valores que obtuvimos en el laboratorio con los límites máximos permisibles de la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1108, determinamos que existen 5 parámetros físico-químicos y microbiológicos que no cumplen con los límites permisibles e la norma y los especificamos en la siguiente tabla.

Tabla 24. Parámetros Físico-Químicos y Microbiológicos fuera de norma.

| PARÁMETROS | UNIDADES | LÍMITE PERMISIBLE NTE INEN 1108 | RESULTADO |
|--------------------|-----------------|--|------------------|
| Ph | H ⁺ | 6,5-8,5 | 6,38 |
| Nitritos | mg/L | 0,2 | 2,6 |
| Fosfatos | mg/L | < 0,30 | 0,960 |
| Coliformes totales | UFC/100mL | Ausencia | 48 |
| Coliformes fecales | UFC/100mL | Ausencia | 6 |

Realizado por: SÁNCHEZ, Santiago, R. 2015

Los datos de la tabla 7-2 son el punto de partida para potabilizar el agua cruda de la fuente de captación y realizar el diseño de la planta de tratamiento de agua potable para la Parroquia Matriz del Cantón Penipe.

CAPITULO III

3 MARCO DE RESULTADOS, DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1 Población y demanda de agua

El diseño de la planta potabilizadora de agua no se realiza para satisfacer la población actual, se realiza con el fin que la planta pueda proveer del líquido vital mientras se da un crecimiento poblacional durante un periodo de tiempo entre 10 y 20 años.

Tabla 25. Proyección de la población

| NÚMERO | AÑO | MET. LINEAL | MET. GEOMETRICO |
|--------|------|----------------|-----------------|
| | | r adopt | r adopt |
| | | 0,0264 | 0,0264 |
| | | $Pft=Pa(1+rn)$ | $Pft=Pa(1+r)^n$ |
| 0 | 2014 | 1064 | 1064 |
| 1 | 2015 | 1092 | 1092 |
| 2 | 2016 | 1120 | 1121 |
| 3 | 2017 | 1148 | 1151 |
| 4 | 2018 | 1176 | 1181 |
| 5 | 2019 | 1204 | 1212 |
| 6 | 2020 | 1233 | 1244 |
| 7 | 2021 | 1261 | 1277 |
| 8 | 2022 | 1289 | 1311 |
| 9 | 2023 | 1317 | 1345 |
| 10 | 2024 | 1345 | 1381 |
| 11 | 2025 | 1373 | 1417 |
| 12 | 2026 | 1401 | 1455 |
| 13 | 2027 | 1429 | 1493 |
| 14 | 2028 | 1457 | 1532 |
| 15 | 2029 | 1485 | 1573 |
| 16 | 2030 | 1513 | 1614 |
| 17 | 2031 | 1542 | 1657 |
| 18 | 2032 | 1570 | 1701 |
| 19 | 2033 | 1598 | 1746 |
| 20 | 2034 | 1626 | 1792 |
| 21 | 2035 | 1654 | 1839 |
| 22 | 2036 | 1682 | 1888 |

Realizado por: SANCHEZ, Santiago, R. 2015

Población Futura

(Ecuación 1)

$$Pft = Pa(1 + rn)$$

Donde:

Pft: Población futura total (hab)

Pa: población Actual (hab)

r: Índice de crecimiento poblacional

n: Periodo de tiempo (años)

3.1.1 Nivel de complejidad

Como la población de diseño proyectada para 20 años es de 1792 habitantes, se determina que el nivel de complejidad del sistema es bajo.

3.1.2 Proyección de caudal requerido dentro de 20 años

3.1.2.1 Dotación de agua

3.1.2.1.1 Dotación básica

La parroquia matriz del cantón Penipe no cuenta con registro de datos de consumo, por lo que se va a asumir el valor de las normas que se recomiendan para estas comunidades se adopta una dotación media futura de 150 L/hab*día.

3.1.2.1.2 Dotación futura

(Ecuación 2)

$$DF = \frac{DB}{1 - \text{Pérdidas Técnicas}}$$

Donde:

DF: dotación futura

DB: dotación básica (150 L/hab*día)

Pérdidas técnicas (0.40 Tabla 5. Pérdidas Técnicas)

$$DF = \frac{150}{1 - 0,40}$$

$$DF = 250 \text{ L/hab} * \text{ día}$$

3.1.2.2 Caudales de diseño

a. Caudal medio diario (cmd)

(Ecuación 3)

$$cmd = \frac{Pf * DF}{86400} + F$$

Donde:

cmd: caudal medio diario (L/s)

Pf: Población final (1792 hab)

DF: Dotación Futura (250 L/hab*día)

F: Factor de fugas (20%)

$$cmd = \frac{1792 * 250}{86400} + 0,2$$
$$cmd = 5,39 \text{ L/s}$$

b. Caudal máximo diario (CMD)

(Ecuación 4)

$$CMD = K * cmd$$

Donde:

CMD: caudal máximo diario

K: coeficiente de variación diaria (1,3 adm Tabla 7. Valores del coeficiente)

cmd: caudal medio diario (5,39 L/s)

$$CMD = 1,3 * 5,39$$
$$CMD = 7,01 \text{ L/s}$$

c. Caudal máximo Horario (QMH)

(Ecuación 5)

$$QMH = K_2 * CMD$$

Donde:

QMH: Caudal máximo horario (L/s)

K₂: Coeficiente de variación horario (1,6 adm)

CMD: Caudal máximo diario (7,01 L/s)

$$Q_{MH} = 1,6 * 7,01$$

$$Q_{MH} = 11,22 \text{ L/s}$$

3.2 Cálculos de ingeniería

3.2.1 Caudal de captación

La estructura de la captación se la diseñará con una capacidad equivalente a 1,3 veces el caudal máximo diario (CMD). **(Ecuación 6)**

$$Q_{captación} = CMD * 1,3$$

$$Q_{captación} = 7,01 * 1,3$$

$$Q_{captación} = 9,11 \text{ L/s}$$

3.2.2 Caudal de tratamiento

La planta de tratamiento se diseñará para un caudal equivalente a 1 veces el caudal máximo diario (CMD). **(Ecuación 7)**

$$Q_{tratamiento} = CMD * 1$$

$$Q_{tratamiento} = 7,01 * 1$$

$$Q_{tratamiento} = 7,01 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

3.2.3 Volúmenes de reserva

Vamos a dimensionar el tanque en base a la demanda y el consumo medio diario de la parroquia matriz del cantón Penipe, además para el dimensionamiento se utilizara un volumen extra de almacenamiento que se sugiere el 25%.

a. Volumen de regulación

(Ecuación 8)

$$V_r = 0,25 * cmd$$

Donde:

Vr: Volumen de regulación (m³)

Cmd: caudal medio diario (5,39 L/s = 465,7 m³/d)

$$Vr = 0,25 * 465,7$$

$$Vr = 116,43 \text{ m}^3$$

b. Volumen contra incendios

(Ecuación 9)

$$Vi = 50 * \sqrt{p}$$

Donde:

Vi: volumen contra incendios (m³)

P: población en miles

$$Vi = 50 * \sqrt{1,937}$$

$$Vi = 66,93 \text{ m}^3$$

c. Volumen de emergencia

(Ecuación 10)

$$Ve = 0,25 * Vr$$

Donde:

Ve: volumen de emergencia (m³)

Vr: volumen de regulación (116,43 m³)

$$Ve = 0,25 * 116,43$$

$$Ve = 29,12 \text{ m}^3$$

d. Volumen total

(Ecuación 11)

$$Vt = Vr + Vi + Ve$$

$$Vt = 116,43 + 66,93 + 29,12$$

$$Vt = 212,48 \text{ m}^3$$

3.3 Procesos de potabilización

3.3.1 Vertedero rectangular.

3.3.1.1 Dimensionamiento del vertedero.

3.3.1.1.1 Caudal del vertedero

(Ecuación 12)

$$Q_{\text{vertedero}} = \frac{Q_{\text{captación}}}{N_c \times a \times l}$$

Donde:

Qcaptación: Caudal de Captación (9,11L/s)

Nc: Número de canales (1)

a: Número de lados por donde se recolecta el agua (2)

l: longitud del canal (1 m el caudal es pequeño y para que el agua tenga una buena caída y se genere turbulencia para la mezcla del PAC)

$$Q_{\text{vertedero}} = \frac{9,11}{1 * 2 * 1}$$
$$Q_{\text{vertedero}} = 4,56 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

El vertedero rectangular será de hormigón para un caudal de 4,56 L/s, el mismo que servirá para dispersar el PAC.

3.3.1.1.2 Canal del vertedero

(Ecuación 13)

$$C_v = f_s * H$$

Donde:

H: altura de la lámina de agua (0.05 m Parámetro establecido para unidades hidráulicas)

fs: Factor de seguridad, (adm Tabla 8.Factor de seguridad)

$$C_v = 1.0 \times (0.05)$$

$$C_v = 0.05 \text{ m}$$

3.3.1.1.3 *Ancho del vertedero*
(Ecuación 14)

$$Q_{\text{vertedero}} = 1,84 * B * H^{\frac{3}{2}}$$

Donde:

Qvertedero: (4,56*10⁻³ m³/s)

B: ancho del vertedero

H: altura de la lámina de agua (0.05 m Parámetro establecido para unidades hidráulicas)

$$B = \frac{Q}{1,84 * H^{\frac{3}{2}}}$$

$$B = \frac{4,56 * 10^{-3}}{1,84 * 0,05^{\frac{3}{2}}}$$

$$B = 0,22 \text{ m}$$

3.3.1.1.4 *Caudal por unidad de ancho*
(Ecuación 15)

$$q = \frac{Q_{\text{vertedero}}}{B}$$

Donde:

q: caudal por unidad de ancho

Qvertedero: 4,56*10⁻³ m³/s

B: ancho del vertedero (0,22m)

$$q = \frac{4,56 * 10^{-3}}{0,22}$$

$$q = 0,021 \text{ m}^3/\text{s}$$

3.3.2 *Coagulación*

La dosificación del PAC se la realizara por una bomba dosificadora y con los resultados que se obtuvieron en las pruebas de jarras. (Ecuación 16)

$$x = \frac{q * C}{60 * P * \rho}$$

Donde:

q: Caudal del vertedero ($4,56 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} = 16,42 \text{ m}^3/\text{h}$)

C: Concentración de acuerdo al test de jarras (2 ppm)

P: Porcentaje de dilución (10%)

ρ : Densidad del PAC (1.24 kg/L)

$$x = \frac{16,42 * 2}{60 * 10 * 1.24}$$
$$x = 0.044 \text{ ml/min}$$
$$x = \mathbf{0,063 \text{ l/día}}$$

3.3.3 *Floculador*

Para asegurar la dispersión del coagulante (PAC) en el agua cruda, debe aplicarse a una distancia L_m del vertedero ya que al aplicar a una distancia menor a esta haría que una parte del agua cruda recibiese una dosis menor por lo cual utilizaremos un vertedero rectangular para mezcla rápida.

3.3.3.1 *Profundidad critica del flujo*

(Ecuación 17)

$$h_c = \left(\frac{q^2}{g} \right)^{1/3}$$

Donde:

h_c : profundidad crítica

q: Caudal por unidad de ancho ($0,021 \text{ m}^3/\text{s}$)

g: Gravedad (9.8 m/s^2)

$$h_c = \left(\frac{(0.021)^2}{9.8} \right)^{1/3}$$
$$h_c = \mathbf{0,036 \text{ m}}$$

3.3.3.2 *Longitud del salto*

(Ecuación 18)

$$L_m = 4,3 P^{0,1} h_c^{0,9}$$

Donde:

L_m : longitud del salto

P : Altura de la pared del vertedero (0.5 m Para tener un resalto estable y una mezcla eficiente)

h_c : Profundidad crítica de flujo (0.036 m)

$$L_m = 4,3(0.5)^{0,1} \times (0.036)^{0,9}$$

$$L_m = 0.20m$$

3.3.3.3 Profundidad Supercrítica o altura del agua después del salto

(Ecuación 19)

$$h_1 = \frac{\sqrt{2}}{1,06 + \sqrt{\frac{P}{h_c} + 1,5}} h_c$$

Donde:

h_1 : Profundidad supercrítica

P : Altura de la pared del vertedero (0.5 m)

h_c = Profundidad crítica de flujo (0.036 m)

$$h_1 = \frac{\sqrt{2}}{1,06 + \sqrt{\frac{0.5}{0.036} + 1,5}} 0.036$$

$$h_1 = 0.01 m$$

3.3.3.4 Velocidad del agua en el salto

(Ecuación 20)

$$v_1 = \frac{q}{h_1}$$

Donde:

V_1 : velocidad en el salto

q : Caudal por unidad de ancho (0.021 m³/s)

h_1 : Profundidad supercrítica (0.01 m)

$$v_1 = \frac{0.021}{0.01}$$

$$v_1 = 2.1 m/s$$

3.3.3.5 *Número de Froude*
(Ecuación 21)

$$F = \frac{v_1}{\sqrt{gh_1}}$$

Donde:

F: Número de froude

V₁: Velocidad de agua en el salto (2.1 m/s)

g: Gravedad (9.8 m/s²)

h₁: Profundidad supercrítica (0.01 m)

$$F = \frac{2.1}{\sqrt{9.8 \times 0.01}}$$

$$F = 6,71 \text{ Optimo}$$

3.3.3.6 *Profundidad Subcrítica*
(Ecuación 22)

$$h_2 = \frac{1}{2} \left(\sqrt{1 + 8F^2} - 1 \right) h_1$$

Donde:

h₂: Profundidad Subcrítica

F: Número de Froude (6,71)

h₁: Profundidad supercrítica (0.01 m)

$$h_2 = \frac{1}{2} \left(\sqrt{1 + 8 \times (6,71)^2} - 1 \right) 0.01$$

$$h_2 = 0,09 \text{ m}$$

3.3.3.7 *Velocidad del agua en el resalto*
(Ecuación 23)

$$v_2 = \frac{q}{h_2}$$

Donde:

V₂: Velocidad del agua en el resalto

q: Caudal por unidad de ancho (0.021 m³/s)

h₂: Profundidad Subcrítica (0.09 m)

$$v_2 = \frac{0.021}{0.09}$$

$$v_2 = 0.23 \text{ m/s}$$

3.3.3.8 *Pérdida de energía en el resalto*
(Ecuación 24)

$$h = \frac{(h_2 - h_1)^3}{4h_1h_2}$$

Donde:

h: pérdida de energía en el resalto

h₂: profundidad Subcrítica (0.09 m)

h₁: profundidad supercrítica (0.01 m)

$$h = \frac{(0.09 - 0.01)^3}{4 \times (0.01 \times 0.09)}$$

$$h = 0.14 \text{ m}$$

3.3.3.9 *Longitud del resalto, para un resalto estable:* se calcula con la ecuación de Smetana.
(Ecuación 25)

$$L_j = 6(h_2 - h_1)$$

Donde:

L_j: longitud de resalto

h₂: Profundidad Subcrítica (0.09 m)

h₁: Profundidad Supercrítica (0.01 m)

$$L_j = 6(0.09 - 0.01)$$

$$L_j = 0.48 \text{ m}$$

3.3.3.10 *Velocidad media en el resalto*
(Ecuación 26)

$$v_m = \frac{v_1 + v_2}{2}$$

Donde:

V_m: velocidad media

V_1 : Velocidad de agua en el salto: (2.1 m/s)

V_2 : Velocidad del agua en el resalto (0.23 m/s)

$$v_m = \frac{2.1 + 0.23}{2}$$
$$v_m = 1.17 \text{ m/s}$$

3.3.3.11Tiempo de mezcla
(Ecuación 27)

$$tm = \frac{L_j}{v_m}$$

Donde:

tm: tiempo de mezcla

L_j : Longitud del resalto, para resalto estable (0.48 m)

V_m : Velocidad media en el resalto: (1.17 m/s)

$$t = \frac{0.48}{1.17}$$
$$t = 0.41 \text{ s}$$

3.3.3.12Gradiente de Velocidad

El peso específico y la viscosidad dinámica del agua se obtienen a una temperatura de 15°C.

(Ecuación 28)

$$G = \sqrt{\frac{\gamma h}{\mu t}}$$

Donde:

G: Gradiente de velocidad

γ : Peso específico del agua (9798 N/m³ a 15°C tabla 9. Propiedades Físicas del Agua a 1 At)

μ = Viscosidad dinámica del agua (1.139×10^{-3} Pas a 15°C Tabla 9. Propiedades Físicas del Agua a 1 At)

t = Tiempo de mezcla: 0.41 s

h = Pérdida de energía en el resalto: 0.14 m

$$G = \sqrt{\frac{(9798) \times (0.14)}{(1.139 \times 10^{-3}) \times (0.41)}}$$

$$G = 1713.87 \text{ s}^{-1}$$

3.3.3.13 Dimensionamiento de la unidad de floculación

3.3.3.13.1 Volumen total de la unidad (Ecuación 29)

$$Vf = 60 * q * Tr$$

Donde:

Vf: volumen total de la unidad

q: caudal por unidad de ancho (0,021 m³/s)

Tr: tiempo de retención (20 min)

$$Vf = 60 * 0,021 * (20 \text{ min})$$

$$Vf = 25,2 \text{ m}^3$$

3.3.3.13.2 Ancho total de la unidad (Ecuación 30)

$$B = \frac{Vf}{H * L}$$

Donde:

B: ancho de la unidad

Vf: volumen total de la unidad (25,2 m³)

H: Profundidad (1,2m)

L: longitud (3,6m)

$$B = \frac{25,2}{1,2 * 3,6}$$

$$B = 5,8 \text{ m}$$

3.3.3.13.3 Tiempo de retención en el primer canal (Ecuación 31)

$$t = \frac{H * b * L}{q * 60}$$

Donde:

t: tiempo de retención en el primer canal

H: Profundidad (1,2m)

b: ancho del tramo (0,7m)

L: longitud (3,6m)

q: caudal por unidad de ancho (0,021 m³/s)

$$t = \frac{1,2 * 0,7 * 3,6}{0,021 * 60}$$
$$t = 2,4 \text{ s}$$

3.3.3.13.4 Número de compartimientos

El número de compartimientos obtenemos con ecuación de Richter: **(Ecuación 32)**

$$m = 0,045 \sqrt[3]{\left(\frac{bLG}{q}\right)^2 * t}$$

Donde:

m: número de compartimientos

b: ancho del tramo (0,7m)

L: longitud (3,6m)

G: gradiente de velocidad en el último tramo (25s⁻¹)

q: caudal por unidad de ancho (0,021 m³/s)

t: tiempo de retención en el primer canal (2,4s)

$$m = 0,045 \sqrt[3]{\left(\frac{0,7 * 3,6 * 25}{0,021}\right)^2 * 2,4}$$
$$m = 9,41$$
$$m \approx 9$$

3.3.3.13.5 Espaciamiento entre pantallas **(Ecuación 33)**

$$a = \frac{L - e(m - 1)}{m}$$

Donde:

a: espaciamiento entre pantallas

L: longitud (3,6m)

m: número de compartimientos (9)

e: espesor 0,08

$$a = \frac{3,6 - 0,08 * (9 - 1)}{9}$$
$$a = 0,33 \text{ m}$$

3.3.3.13.6 Velocidad en los canales verticales
(Ecuación 34)

$$vf_1 = \frac{q}{a * b}$$

Donde:

Vf₁: velocidad en los canales

q: caudal por unidad de ancho (0,021 m³/s)

a: espaciamiento entre pantallas (0,33m)

b: ancho del tramo (0,7m)

$$vf_1 = \frac{0,021}{0,33 * 0,7}$$
$$vf_1 = 0,091 \text{ m/s}$$

3.3.3.13.7 Velocidad en cada paso
(Ecuación 35)

$$vf_2 = \frac{2}{3} vf_1$$

Donde:

Vf₂: Velocidad en cada paso

Vf₁: Velocidad en los canales (0,091 m/s)

$$vf_2 = \frac{2}{3} (0,091)$$
$$vf_2 = 0,06 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

3.3.3.13.8 *Altura de paso*
(Ecuación 36)

$$P_2 = \frac{q/vf_2}{b_2}$$

Donde:

P₂: altura de paso

q: caudal por unidad de ancho (0,021 m³/s)

Vf₂: Velocidad en cada paso (0,06m/s)

b: ancho del tramo (0,7m)

$$P_2 = \frac{0,021/(0,06)}{0,7}$$
$$P_2 = 0,5 \text{ m}$$

3.3.3.13.9 *Extensión total de canales en el último tramo*
(Ecuación 37)

$$l = 60 * vf_1 * t$$

Donde:

l: extensión total de canales en el último tramo

Vf₁: velocidad en los canales (0,091m/s)

t: tiempo de retención en el primer canal (2,4s)

$$l = 60 * 0,091 * 2,4$$
$$l = 13,10 \text{ m}$$

3.3.3.13.10 *Radio hidráulico del compartimiento entre pantallas*
(Ecuación 38)

$$R_H = \frac{a * b}{2(a + b)}$$

Donde:

R_H: Radio hidráulico del compartimiento entre pantallas

a: espaciamiento entre pantallas (0,33m)

b: ancho del tramo (0,7m)

$$R_H = \frac{0,33 * 0,7}{2(0,33 + 0,7)}$$

$$R_H = 0,11m$$

3.3.3.13.11 *Pérdida de carga continua en los canales*
(Ecuación 39)

$$hf_1 = \left(\frac{n * vf_1}{R_H^{2/3}} \right)^2 * l$$

Donde:

hf₁: pérdida de carga continua en los canales

n: Coeficiente de Mannig 0,013 para concreto

Vf₁: velocidad en los canales (0,091m/s)

R_H: Radio hidráulico del compartimiento entre pantallas (0,11m)

l: extensión total de canales en el último tramo (13,10m)

$$hf_1 = \left(\frac{0,013 * 0,091}{(0,11)^{2/3}} \right)^2 * 13,10$$

$$hf_1 = 3,48 * 10^{-4}m$$

3.3.3.13.12 *Pérdida de carga continua en las vueltas*
(Ecuación 40)

$$hf_2 = \frac{(m + 1) (vf_1)^2 + m(vf_2)^2}{2g}$$

Donde:

hf₂: Pérdida de carga continua en las vueltas

m: número de compartimientos (9)

Vf₁: Velocidad en los canales (0,091 m/s)

Vf₂: Velocidad en cada paso (0,06m/s)

g: Gravedad (9.8 m/s²)

$$hf_2 = \frac{(9 + 1) * (0,091)^2 + 9(0,06)^2}{2(9,8)}$$

$$hf_2 = 5,88 * 10^{-3}m$$

3.3.3.13.13 *Pérdida de carga total en el último tramo*
(Ecuación 41)

$$hf = hf_1 + hf_2$$

Donde:

hf: Pérdida de carga total en el último tramo

hf₁: Pérdida de carga continua en los canales (3,48*10⁻⁴)

hf₂: Pérdida de carga continua en las vueltas (5,88*10⁻³)

$$hf = 3,48 * 10^{-4} + 5,88 * 10^{-3}$$

$$hf = 6,23 * 10^{-3} \text{ m}$$

3.3.3.13.14 *Volumen del tramo*
(Ecuación 42)

$$Vt = HbL - e(m - 1) * b(H - P_2)$$

Donde:

Vt: Volumen del tramo

H: Profundidad (1,2m)

b: ancho del tramo (0,7m)

L: longitud (3,6m)

e: espesor 0,08

m: número de compartimientos (9)

P₂: altura de paso (0,5m)

$$Vt = 1,2 * 0,7 * 3,6 - 0,08(9 - 1) * 0,7(1,2 - 0,5)$$

$$Vt = 2,71 \text{ m}^3$$

3.3.3.13.15 *Comprobación del gradiente de velocidad total en el primer tramo*
(Ecuación 43)

$$G_1 = \sqrt{\frac{\gamma}{\mu}} * \sqrt{\frac{hf * q}{Vt}}$$

Donde:

hf: Pérdida de carga total en el último tramo (6,23*10⁻³m)

q: caudal por unidad de ancho (0,021 m³/s)

Vt: Volumen del tramo (2,71m³)

$$G_1 = 1713,87 * \sqrt{\frac{6,23 * 10^{-3} * 0,021}{2,71}}$$
$$G_1 = 11,91 \text{ s}^{-1}$$

3.3.4 Sedimentador

3.3.4.1 Carga Superficial después de instalar las placas (Ecuación 44)

$$V_{so} = \frac{l_p}{t_{rp}}$$

Donde:

V_{so}: Carga superficial después de instalar las placas

l_p: Longitud de las placas (1.20 m)

t_{rp}: Tiempo de retención en las placas (15 min)

$$v_{so} = \frac{1.20}{15}$$
$$v_{so} = 0.08 \text{ m/min}$$
$$v_{so} = 115.2 \text{ m/día}$$

3.3.4.2 Área de Sedimentación acelerada (Ecuación 45.)

$$A_s = \frac{q}{v_{so} \text{sen}\theta}$$

Donde:

A_s: área de sedimentación acelerada

q: Caudal de diseño (4,56*10⁻³m³/s = 393.98 m³/día)

V_{so}: Carga superficial después de instalar las placas (115,2 m/día)

θ = Ángulo de inclinación del elemento de sedimentación (60°)

$$A_s = \frac{393,98}{115.2 \times \text{sen}60^\circ}$$
$$A_s = 3,95 \text{ m}^2$$

3.3.4.3 Longitud del área de Sedimentación acelerada
(Ecuación 46)

$$L_s = \frac{A_s}{B_s}$$

Donde:

Ls: longitud del área de sedimentación acelerada

As: área de sedimentación acelerada (3,95 m²)

Bs: Ancho del sedimentador (2.40 m)

$$L_s = \frac{3,95}{2.40}$$
$$L_s = 1,65 \text{ m}$$

3.3.4.4 Longitud relativa del sedimentador
(Ecuación 47)

$$L_r = \frac{l_p}{e_p}$$

Donde:

Lr: longitud relativa del sedimentador

lp: Longitud de las placas (1.20 m)

ep: Distancia entre placas (5 cm = 0.05 m)

$$L_r = \frac{1.20}{0.05}$$
$$L_r = 24$$

3.3.4.5 Longitud relativa en la región de transición
(Ecuación 48)

$$L' = 0,013 \frac{v_{so} \times e_p}{\nu}$$

Donde:

L': longitud relativa en la región de transición

Vso: Carga superficial después de instalar las placas (0.08 m/min)

ν = Viscosidad cinemática del agua (1.140×10^{-6} m²/s a 15 °C Tabla 12. Viscosidad Cinemática del agua a 1 Atmósfera)

e_p : Distancia entre placas (5 cm = 0.05 m)

$$L' = 0,013 \frac{0.08 \times 0.05}{60 \times (1.140 \times 10^{-6})}$$
$$L' = 0.76$$

3.3.4.6 Longitud relativa corregida (Ecuación 49)

$$L_c = L_r - L'$$

Donde:

L_c : longitud relativa corregida

L_r : Longitud relativa del sedimentador (24)

L' : Longitud relativa en la región de transición (0.76)

$$L_c = 24 - 0.76$$
$$L_c = 23.24$$

3.3.4.7 Velocidad crítica de Sedimentación (Ecuación 50)

$$v_{sc} = \frac{S_c \times v_{so}}{\text{sen}\theta + L_r \cos\theta}$$

Datos:

V_{sc} : velocidad crítica de sedimentación

S_c : Placas planas paralelas (1 adm Tabla 23. Valores de S_c Típicos)

v_{so} : Carga superficial después de instalar las placas (115.2 m/día)

θ : Ángulo de inclinación del elemento de sedimentación (60°)

L_r : Longitud relativa del sedimentador (24)

$$v_{sc} = \frac{1 \times 115.2}{\text{sen}60^\circ + (24 \times \cos60^\circ)}$$
$$v_{sc} = 8.95 \text{ m/día}$$

3.3.4.8 *Número de Reynolds*
(Ecuación 51)

$$N_{Re} = \frac{v_{so} \times e_p}{\nu}$$

Donde:

N_{Re} : Número de Reynolds

v_{so} : Carga superficial después de instalar las placas (115.2 m/día)

e_p : Distancia entre placas (5 cm = 0.05 m)

ν : Viscosidad cinemática del agua (1.140×10^{-6} m²/s)

$$N_{Re} = \frac{115.2 \times 0.05}{86400 \times (1.140 \times 10^{-6})}$$

$$N_{Re} = 58.48$$

El número de Reynolds es menor a 2000 lo cual nos indica que el flujo de agua es laminar.

3.3.4.9 *Volumen del Sedimentador*
(Ecuación 52)

$$V_s = L_s \times B_s \times Z_s$$

Donde:

V_s : Volumen del sedimentador

L_s : longitud del área de sedimentación acelerada (1,65m)

B_s : Ancho del sedimentador (2.40 m)

Z_s : Altura del sedimentador (3 m)

$$V_s = 1,65 \times 2.40 \times 3$$

$$V_{Ts} = 11,88 \text{ m}^3$$

3.3.4.10 *Tiempo de retención en el tanque de sedimentación*
(Ecuación 53)

$$t_{rs} = \frac{V_s}{q}$$

Donde:

t_{rs} : tiempo de retención en el sedimentador

V_s : Volumen del sedimentador (11,88 m³)

q : Caudal de diseño (0.0211 m³/s)

$$t_{rs} = \frac{11,88}{0.0211}$$
$$t_{rs} = 565,71 \text{ s}$$
$$t_{rs} = \mathbf{9,43 \text{ min}}$$

3.3.4.1 Número de placas

(Ecuación 54)

$$N_p = \frac{(L_s - l_p \cos \theta) \operatorname{sen} \theta + e_p}{e_p + b_p}$$

Donde:

N_p : Número de placas en el sedimentador

L_s : longitud del área de sedimentación acelerada (1,65m)

l_p : Longitud de las placas (1.20 m)

θ : Ángulo de inclinación del elemento de sedimentación (60°)

e_p : Distancia entre placas (0.05 m)

b_p : Espesor de las placas (0.01 m)

$$N_p = \frac{(1,65 - (1.20 \times \cos 60^\circ)) \operatorname{sen} 60^\circ + 0.05}{0.05 + 0.01}$$
$$N_p = \mathbf{15.98 \text{ placas} \approx 16}$$

3.3.5 Filtración

3.3.5.1 Dimensionamiento de Filtros Lentos

Los filtros de arena serán diseñados para un caudal de $4,56 \cdot 10^{-3}$ m³/s y estará compuesto de grava y arena.

3.3.5.1.1 Superficie filtrante requerida

(Ecuación 55)

$$S_f = \frac{q}{T_f}$$

Donde:

Sf: Superficie filtrante

q: caudal a tratar ($4,56 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$)

Tf: Tasa de filtración ($2,5 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h} = 2,89 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$)

$$S_f = \frac{4,56 \cdot 10^{-3}}{2,89 \cdot 10^{-5}}$$

$$S_f = 157,79 \text{ m}^2$$

3.3.5.1.2 *Área de filtración*
(Ecuación 56)

$$Af = \frac{S_f}{2}$$

Donde:

Af: área de filtración

Sf: Superficie filtrante ($157,79 \text{ m}^2$)

$$Af = \frac{157,79}{2}$$

$$Af = 78,9 \text{ m}^2$$

(Ecuación 57.)

$$Largo = \frac{Af}{Ancho}$$

Donde:

Af: área de filtración ($78,9 \text{ m}^2$)

$$Largo = \frac{78,9}{7,5}$$

$$Largo = 10,52 \text{ m}$$

3.3.5.1.3 *Tubería de entrada al filtro*
(Ecuación 58)

$$Dt = \sqrt{\frac{4 \cdot Qi}{v \cdot \pi}}$$

Donde:

Dt: Diámetro de la tubería

Qi: Caudal de diseño para cada filtro (0,06m³/s)

v: Velocidad en la tubería (2,4m/s)

$$Dt = \sqrt{\frac{4 * (0,06)}{2,4 * \pi}}$$

$$Dt = 0,178 \text{ m} \approx 178 \text{ mm}$$

3.3.5.2 Sistema de drenaje

Una tubería de 178mm perforada recogerá el agua filtrada.

3.3.5.2.1 Área de cada orificio

(Ecuación 59)

$$Ao = \frac{\pi \times D^2}{4}$$

Donde:

Ao: Área de cada orificio

D: diámetro de orificios laterales (0,012 m)

$$Ao = \frac{\pi \times (0,012\text{m})^2}{4}$$

$$Ao = 1,13 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

3.3.5.2.2 Caudal que ingresa a cada orificio

(Ecuación 60)

$$Qo = Ao \times vo$$

Donde:

Qo: caudal del orificio

Ao: Área de cada orificio (1,13*10⁻⁴ m)

Vo: Velocidad en el orificio (3 m/s)

$$Qo = (1,13 * 10^{-4}) (3)$$

$$Qo = 3,29 * 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

3.3.5.2.3 *Número de orificios laterales*
(Ecuación 61)

$$\# \text{ laterales} = n * \frac{L}{el}$$

Donde:

L: Longitud total del filtro (10,52 m)

el: Separación entre laterales (1m)

n: número de laterales por lado (2)

$$\# \text{ laterales} = 2 * \frac{10,52}{1}$$

$$\# \text{ laterales} = 21,04 \approx 21$$

3.3.5.2.4 *Separación entre orificios*
(Ecuación 62)

$$\# \text{ orificios/lateral} = 2 * \frac{Ll}{e}$$

Donde:

Ll: Longitud de cada lateral (400cm)

e: Espacio entre orificios (8 cm)

$$\# \text{ orificios/lateral} = 2 * \frac{400}{8}$$

$$\# \text{ orificios/lateral} = 100$$

3.3.5.2.5 *Número total de orificios*
(Ecuación 63)

$$\# \text{ total de orificios} = \# \text{ de laterales} * \# \text{ de orificios/laterales}$$

$$\# \text{ total de orificios} = 21 * 100$$

$$\# \text{ total de orificios} = 2100$$

3.3.5.2.6 *Área total de orificios*
(Ecuación 64)

$$Ato = Ao * \# \text{ total de orificios}$$

Donde:

Ato: Area total de orificios

Ao: Área de cada orificio ($1,13 \cdot 10^{-4}$)

$$Ato = (1,13 \cdot 10^{-4}) \cdot 2100$$

$$Ato = 0,24m^2$$

3.3.5.2.7 *Comprobación de cumplimiento con los parámetros*
(Ecuación 65)

$$\frac{Ato}{Atf} = \frac{0,24}{78,9} = 0,003$$

3.3.6 *Desinfección*

La desinfección del agua se la realizará en el tanque de cloración tiene un caudal de 4,56 L/s, se aplicara hipoclorito de calcio con una concentración de 0,3 mg/L para lo cual se requiere una caseta de cloración con un tanque para el hipoclorador.

3.3.6.1 *Peso de cloro Necesario*
(Ecuación 66)

$$P_{Cl} = \frac{Q \cdot D \cdot 86400}{1000}$$

Donde:

P_{Cl}: Peso del cloro necesario

Q: Caudal de diseño ($4,56 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$)

D: Dosis de cloro necesario (0.3 mg/L aguas claras)

$$P_{Cl} = \frac{4,56 \cdot 10^{-3} \cdot 0.3 \cdot 86400}{1000}$$
$$P_{Cl} = 0.12 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

3.3.6.2 Volumen del Hipoclorador

La concentración del hipoclorito de sodio, C es 5%. **(Ecuación 67)**

$$V_H = \frac{P_{Cl}}{5 C}$$

Donde:

V_H : Volumen del hipoclorador

P_{Cl} : Peso de cloro necesario: 0.12 kg/día

C: Concentración de la solución (5 %)

$$V_H = \frac{0.12}{5 \times 5}$$
$$V_H = 4,8 * 10^{-3} m^3$$

3.3.6.3 Tanque de contacto para la mezcla de cloro

El tanque será construido de hormigón será utilizado como tanque de almacenamiento, cuyo tiempo óptimo de retención será de 30 min, es el tiempo requerido para que el cloro esté en contacto con el agua. **(Ecuación 68)**

$$V_{Tc} = Q t f_s$$

Donde:

V_{Tc} : volumen del tanque de contacto

Q: Caudal de diseño ($4,56 * 10^{-3} m^3/s$)

t: Tiempo de retención (20 min = 1200 s)

f_s : Factor de seguridad (1)

$$V_{Tc} = 4,56 * 10^{-3} \times 1200 \times 1$$
$$V_{Tc} = 5,4 m^3$$

3.3.6.4 Altura del tanque para la mezcla de cloro **(Ecuación 69)**

$$H_{Tc} = \frac{V_{Tc}}{A_{Tc}}$$

Donde:

H_{tc}: altura del tanque

V_{Tc} = Tanque de contacto para la mezcla de cloro (5,4 m³)

A_{Tc} = Área del tanque para la mezcla de cloro (3 m²)

$$H_{Tc} = \frac{5,4}{3}$$

$$H_{Tc} = 1,8 \text{ m}$$

3.4 Resultados**3.4.1 Población y demanda de agua****Tabla 26. Resultados de población y demanda de agua**

| PARÁMETROS | SÍMBOLO | VALOR | UNIDADES |
|-----------------------|---------|-------|-----------|
| Población Futura | Pft | 1792 | hab |
| Nivel complejidad | - | Bajo | - |
| Dotación básica | DB | 150 | L/hab*día |
| Caudal medio diario | Cmd | 5,39 | L/s |
| Caudal máximo diario | CMD | 7,01 | L/s |
| Caudal máximo horario | CMM | 11,22 | L/s |

Realizado por: SÁNCHEZ, Santiago 2015

3.4.2 Cálculos de ingeniería**Tabla 27. Resultados de Cálculos de Ingeniería**

| PARÁMETROS | SÍMBOLO | VALOR | UNIDADES |
|-----------------------|--------------|--------|----------------|
| Caudal de captación | Qcaptación | 9,11 | L/s |
| Caudal de tratamiento | Qtratamiento | 7,01 | L/s |
| Volumen de regulación | Vr | 116,43 | m ³ |
| Volumen incendios | Vi | 66,93 | m ³ |
| Volumen de emergencia | Ve | 29,12 | m ³ |
| Volumen total | Vt | 212,48 | m ³ |

Realizado por: SÁNCHEZ, Santiago 2015

3.4.3 Proceso de potabilización

3.4.3.1 Vertedero rectangular

Tabla 28. Resultados vertedero rectangular

| PARÁMETROS | SÍMBOLO | VALOR | UNIDADES |
|----------------------------|------------------------|-------|----------|
| Caudal del vertedero | $Q_{\text{vertedero}}$ | 4,56 | L/s |
| Canal del vertedero | C_v | 0,05 | M |
| Ancho del vertedero | B | 0,22 | M |
| Caudal por unidad de ancho | Q | 0,021 | L/s |
| Longitud del vertedero | L | 1 | M |
| Altura del vertedero | H | 0,05 | M |

Realizado por: SÁNCHEZ, Santiago 2015

3.4.3.2 Coagulación

Tabla 29. Resultados de la Coagulación

| PARÁMETROS | SÍMBOLO | VALOR | UNIDADES |
|-----------------|---------|-------|----------|
| Cantidad de PAC | X | 0,063 | l/día |

Realizado por: SÁNCHEZ, Santiago 2015

3.4.3.3 Floculador vertical

Tabla 30. Resultados Floculador

| PARÁMETROS | SÍMBOLO | VALOR | UNIDADES |
|----------------------------------|---------|-------|----------|
| Profundidad crítica | H_c | 0,036 | M |
| Longitud de salto | L_m | 0,20 | M |
| Profundidad supercrítica | h_1 | 0,01 | M |
| Velocidad del agua en el salto | V_1 | 2,1 | m/s |
| Número de Froude | NFr | 6,71 | - |
| Profundidad subcrítica | h_2 | 0,09 | M |
| Velocidad del agua en el salto | V_2 | 0,23 | m/s |
| Pérdida de energía en el resalto | H | 0,14 | M |
| Longitud de resalto | L_j | 0,48 | M |

| | | | |
|---|-----------------|-----------------------|-----------------|
| Velocidad media resalto | V _m | 1,17 | m/s |
| Tiempo de mezcla | T | 0,41 | S |
| Gradiente de velocidad | G | 1713,87 | s ⁻¹ |
| Volumen total Floculador | V _f | 25,2 | m ³ |
| Ancho total | B | 5,8 | M |
| Tiempo de retención en el primer canal | T | 2,4 | S |
| Número de compartimientos | M | 9 | - |
| Espaciamiento entre pantallas | A | 0,33 | M |
| Velocidad de canales verticales | V _{f1} | 0,091 | m/s |
| Velocidad en cada paso | V _{f2} | 0,06 | m/s |
| Altura de paso | P ₂ | 0,5 | M |
| Extensión de canales en el último tramo | L | 13,10 | M |
| Radio Hidráulico | R _H | 0,11 | M |
| Pérdida de carga en los Canals | hf ₁ | 3,48*10 ⁻⁴ | M |
| Pérdida de carga en las vueltas | hf ₂ | 5,88*10 ⁻³ | M |
| Pérdida en el último tramo | Hf | 6,23*10 ⁻³ | M |
| Volumen del tramo | V _f | 2,71 | m ³ |
| Comprobación de la gradiente | G | 11,91 | s ⁻¹ |

Realizado por: SÁNCHEZ, Santiago 2015

3.4.3.4 Sedimentador laminar

Tabla 31. Resultados de Sedimentador

| PARÁMETROS | SÍMBOLO | VALOR | UNIDADES |
|--|-----------------|-------|----------------|
| Carga superficial después de instalar las placas | V _{so} | 0,08 | m/min |
| Área de sedimentación acelerada | A _s | 3,95 | m ² |
| Longitud del área de sedimentación acelerada | L _s | 1,65 | M |
| Longitud relativa del Sedimentador | L _r | 24 | M |

| | | | |
|--|-----------------|-------|----------------|
| Longitud relativa en la región de transición | L' | 0,76 | M |
| Velocidad crítica de sedimentación | V _{sc} | 8,95 | m/día |
| Número de Reynols | NRe | 58,48 | - |
| Volumen del Sedimentador | V _s | 11,88 | m ³ |
| Tiempo de retención | Trs | 9,93 | Min |
| Número de placas | N _p | 16 | - |

Realizado por: SÁNCHEZ, Santiago 2015

3.4.3.5 Filtración

Tabla 32. Resultados de filtros lentos de grava-arena

| PARÁMETROS | SÍMBOLO | VALOR | UNIDADES |
|------------------------------------|-------------------|----------------------|-------------------|
| Superficie filtrante requerida | Sf | 157,79 | m ² |
| Área de filtración | Af | 78,9 | m ² |
| Tubería de entrada al filtro | Dt | 178 | Mm |
| Largo | - | 10,52 | M |
| Sistema de drenaje | | | |
| Área de cada orificio | Ao | $1,13 \cdot 10^{-3}$ | m ² |
| Caudal que ingresa a cada orificio | Qo | $3,77 \cdot 10^{-5}$ | m ³ /s |
| Número de orificios laterales | #laterales | 21 | - |
| Separación entre orificios | - | 100 | Cm |
| Número total de orificios | #total de oficios | 2100 | - |
| Área total de orificios | Ato | 1,06 | m ² |
| Comprobación de parámetros | - | 0,003 | - |

Realizado por: SÁNCHEZ, Santiago 2015

3.4.3.6 Desinfección

Tabla 33. Resultados Tanque de Cloración

| PARÁMETROS | SÍMBOLO | VALOR | UNIDADES |
|------------------------------|-----------------|----------------------|----------------|
| Peso cloro necesario | P _{Cl} | 0,12 | Kg/día |
| Volumen del hipoclorador | V _H | 4,8*10 ⁻³ | m ³ |
| Volumen del tanque de mezcla | V _{tc} | 5,4 | m ³ |
| Altura del tanque | H _{tc} | 1,8 | m |
| Longitud del tanque | L _{tc} | 1,5 | m |
| Ancho del tanque | B _{tc} | 2 | m |

Realizado por: SÁNCHEZ, Santiago 2015

3.4.3.7 Validación del sistema

Tabla 34. Validación Final del sistema

| PARÁMETROS | UNIDADES | LÍMITE PERMISIBLE NTE INEN 1108 | RESULTADO |
|-------------------|----------------|------------------------------------|-----------|
| Ph | H ⁺ | 6,5-8,5 | 7,52 |
| Turbiedad | NTU | 5 | 1,1 |
| Conductividad | μS/cm | < 1250 | 752 |
| Cloruros | mg/L | 250 | 5,2 |
| Dureza | mg/L | 300 | 198,0 |
| Calcio | mg/L | 70 | 26,2 |
| Magnesio | mg/L | 30-50 | 33,0 |
| Alcalinidad | mg/L | 250-300 | 265,0 |
| Bicarbonatos | mg/L | 250-300 | 264,8 |
| Sulfatos | mg/L | 200 | 20,0 |
| Amonios | mg/L | < 0,50 | 0,030 |
| Nitratos | mg/L | 50 | 1,8 |
| Nitritos | mg/L | 0,2 | 0,010 |
| Hierro | mg/L | 0,30 | 0,090 |
| Fosfatos | mg/L | < 0,30 | 0,12 |
| Sólidos totales | mg/L | 1000 | 420,0 |
| Sólidos Disueltos | mg/L | 500 | 189,0 |

Realizado por: SÁNCHEZ, Santiago 2015

3.4.4 Caracterización final del agua

3.4.4.1 Propiedades físico-químicas

Tabla 35. Caracterización propiedades físico-químicas

| PARÁMETROS | UNIDADES | LÍMITE PERMISIBLE NTE INEN 1108 | ANTES | DESPUES |
|------------|----------------|------------------------------------|-------|---------|
| pH | H ⁺ | 6,5-8,5 | 6,38 | 7,52 |
| Nitritos | mg/L | 0,2 | 2,6 | 0,010 |
| Fosfatos | mg/L | < 0,30 | 0,960 | 0,12 |

Realizado por: SÁNCHEZ, Santiago 2015

3.4.4.2 Propiedades microbiológicas

Tabla 36. Caracterización propiedades microbiológicas

| PARÁMETROS | UNIDADES | LÍMITE PERMISIBLE NTE INEN 1108 | ANTES | DESPUES |
|--------------------|-----------|------------------------------------|-------|----------|
| Coliformes fecales | UFC/100mL | Ausencia | 6 | Ausencia |
| Coliformes totales | UFC/100mL | Ausencia | 48 | Ausencia |

Realizado por: SÁNCHEZ, Santiago, R. 2015

3.4.5 Porcentaje de remoción

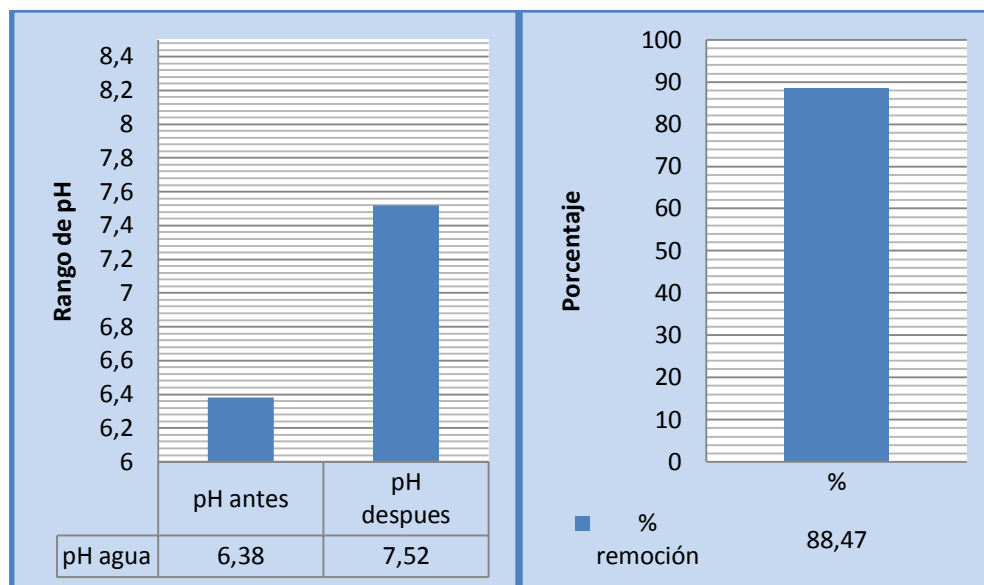
Tabla 37. % de Remoción

| PARÁMETROS FUERA DE NORMA | UNIDAD | ANTES | DESPUES | % REMOCIÓN |
|------------------------------|----------------|-------|----------|---------------|
| pH | H ⁺ | 6,38 | 7,52 | % |
| Nitritos | mg/L | 2,600 | 0,010 | 99,9% |
| Fosfatos | mg/L | 0,960 | 0,12 | 87,5% |
| Coliformes Totales | UFC/100mL | 48 | Ausencia | 100% |
| Coliformes Fecales | UFC/100mL | 6 | Ausencia | 100% |

Realizado por: SÁNCHEZ, Santiago, R. 2015

3.4.6 Gráficas % de remoción

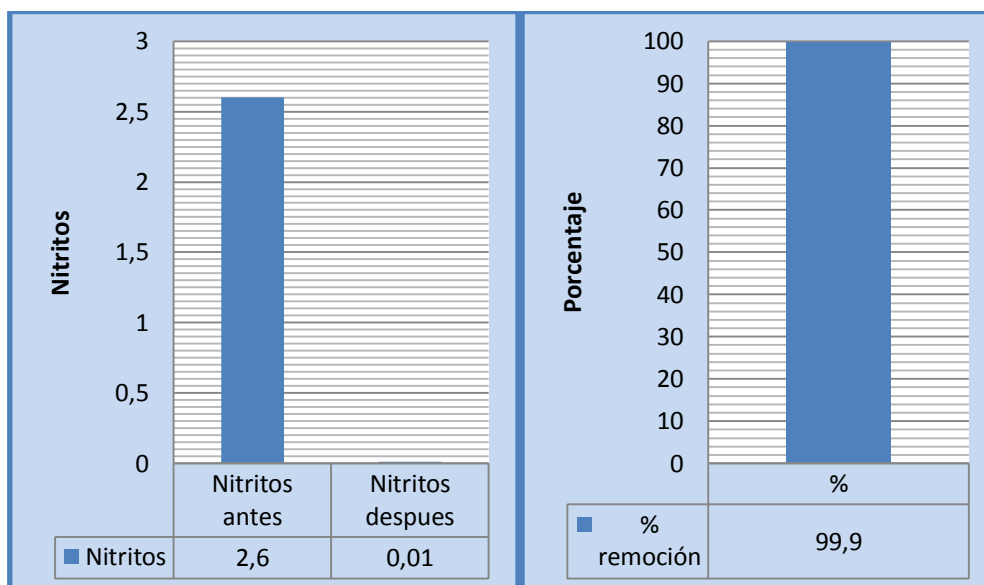
3.4.6.1 % de Remoción pH



Gráfica 1-3. % de remoción pH

Realizado por: SÁNCHEZ, Santiago, R. 2015

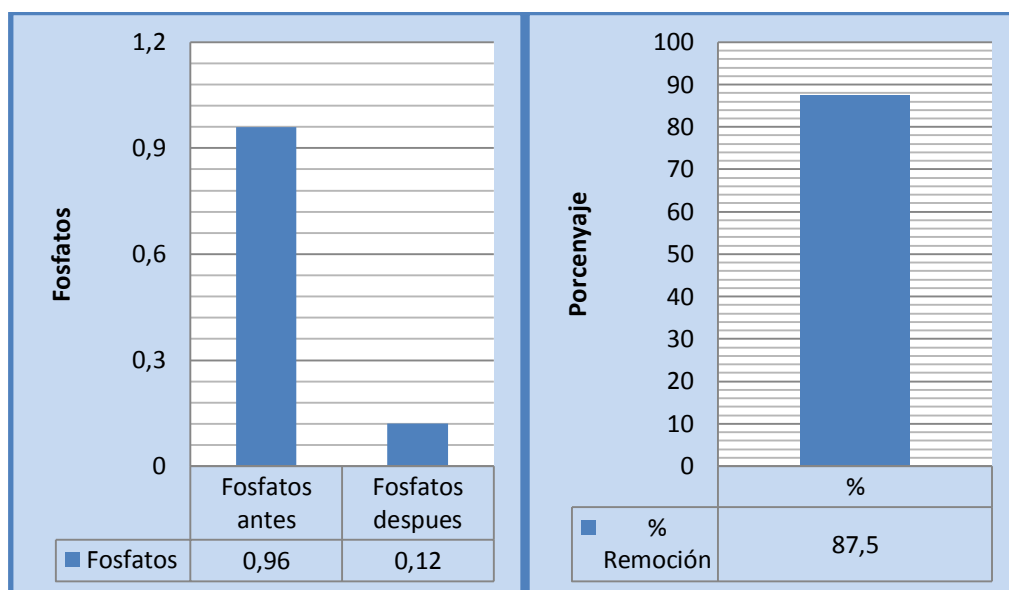
3.4.6.2 % de Remoción Nitritos



Gráfica 2-3. % de remoción Nitritos

Realizado por: SÁNCHEZ, Santiago, R. 2015

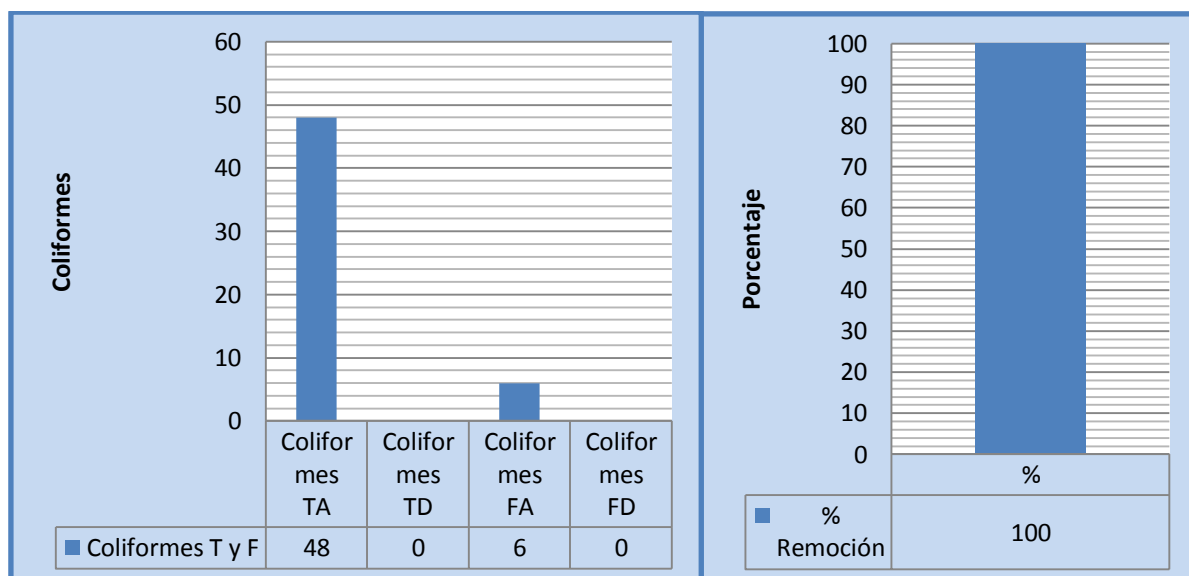
3.4.6.3 % de Remoción Fosfatos



Gráfica 3-3. % de remoción Fosfatos

Realizado por: SÁNCHEZ, Santiago, R. 2015

3.4.6.4 % de Remoción Coliformes



Gráfica 4-3. % Coliformes Totales y Fecales

Realizado por: SÁNCHEZ, Santiago, R. 2015

3.4.7 Análisis de costos

3.4.7.1 Análisis vertedero

Tabla 38. Costo vertedero Rectangular

| VERTEDERO RECTANGULAR | | | | |
|---|--------|----------|-----------------|---------------|
| DESCRIPCIÓN | UNIDAD | CANTIDAD | PRECIO UNITARIO | PRECIO TOTAL |
| LIMPIEZA Y DESBROCE | M2 | 1,5 | 0,90 | 1,35 |
| REPLANTEO Y NIVELACION | M2 | 1,5 | 0,99 | 1,48 |
| EXCAVACION MANUAL | M3 | 0,3 | 8,10 | 2,43 |
| REPLANTILLO H.S. 140 Kg/cm2 | M2 | 1 | 90,11 | 90,11 |
| HORMIGÓN SIMPLE F'C=210 Kg/CM2 | M3 | 2,196 | 175,13 | 384,59 |
| ENLUCIDO VERTICAL CON IMPERMEABILIZANTE | M2 | 5,32 | 9,25 | 49,20 |
| ENCOFRADO CON MADERA | M2 | 6,08 | 7,55 | 45,89 |
| MALLA ELECTROSOLDADA 10X10X6mm | M2 | 3,2 | 4,68 | 14,96 |
| TUBERÍA PVC 50mm | M | 6 | 5,50 | 33,00 |
| CODO PVC 50mm | U | 2 | 1,50 | 3,00 |
| TOTAL= | | | | 626,01 |

Realizado por: SÁNCHEZ, Santiago, R. 2015

3.4.7.2 Análisis Floculador

Tabla 39. Costo Floculador Hidráulico

| FLOCULADOR HIDRAULICO DE FLUJO VERTICAL | | | | |
|---|--------|----------|-----------------|----------------|
| DESCRIPCIÓN | UNIDAD | CANTIDAD | PRECIO UNITARIO | PRECIO TOTAL |
| LIMPIEZA Y DESBROCE | M2 | 20,88 | 0,90 | 18,81 |
| REPLANTEO Y NIVELACION | M2 | 20,88 | 0,99 | 20,59 |
| EXCAVACION MANUAL | M3 | 8,352 | 8,10 | 67,66 |
| REPLANTILLO H.S. 140 Kg/cm2 | M2 | 20,88 | 90,11 | 1881,47 |
| HORMIGÓN SIMPLE F'C=210 Kg/CM2 | M3 | 6,516 | 175,13 | 1141,17 |
| ENLUCIDO VERTICAL CON IMPERMEABILIZANTE | M2 | 45,12 | 9,25 | 417,27 |
| ENCOFRADO CON MADERA | M2 | 50,76 | 7,55 | 383,14 |
| MALLA ELECTROSOLDADA 10X10X6mm | M2 | 66 | 4,68 | 308,55 |
| TUBERÍA PVC 150mm | M | 2 | 15,50 | 31,00 |
| TUBERÍA PVC 50mm | M | 3 | 5,50 | 16,50 |
| TOTAL= | | | | 4286,15 |

Realizado por: SÁNCHEZ, Santiago, R. 2015

3.4.7.3 Análisis Sedimentador

Tabla 40. Costo Sedimentador

| SEDIMENTADOR | | | | |
|---|--------|----------|-----------------|----------------|
| DESCRIPCIÓN | UNIDAD | CANTIDAD | PRECIO UNITARIO | PRECIO TOTAL |
| LIMPIEZA Y DESBROCE | M2 | 9,975 | 0,90 | 8,99 |
| REPLANTEO Y NIVELACION | M2 | 9,975 | 0,99 | 9,84 |
| EXCAVACION MANUAL | M3 | 3,71 | 8,10 | 30,05 |
| REPLANTILLO H.S. 140 Kg/cm2 | M2 | 9,275 | 90,11 | 835,76 |
| HORMIGÓN SIMPLE F' C=210 Kg/CM2 | M3 | 5,43225 | 175,13 | 951,37 |
| ENLUCIDO VERTICAL CON IMPERMEABILIZANTE | M2 | 43,68 | 9,25 | 403,95 |
| ENCOFRADO CON MADERA | M2 | 54,75 | 7,55 | 413,25 |
| MALLA ELECTROSOLDADA 10X10X6mm | M2 | 64,025 | 4,68 | 299,32 |
| TUBERÍA PVC 150mm | M | 2 | 15,50 | 31,00 |
| TUBERÍA PVC 50mm | M | 6 | 5,50 | 33,00 |
| TOTAL= | | | | 2983,53 |

Realizado por: SÁNCHEZ, Santiago, R. 2015

3.4.7.4 Análisis filtros de arena

Tabla 41. Costo Filtro de arena

| FILTROS DE ARENA | | | | |
|---|--------|----------|-----------------|-----------------|
| DESCRIPCIÓN | UNIDAD | CANTIDAD | PRECIO UNITARIO | PRECIO TOTAL |
| LIMPIEZA Y DESBROCE | M2 | 156 | 0,90 | 140,56 |
| REPLANTEO Y NIVELACION | M2 | 156 | 0,99 | 153,82 |
| EXCAVACION MANUAL | M3 | 62,4 | 8,10 | 505,47 |
| REPLANTILLO H.S. 140 Kg/cm2 | M2 | 150 | 90,11 | 13516,28 |
| HORMIGÓN SIMPLE F' C=210 Kg/CM2 | M3 | 54 | 175,13 | 9457,24 |
| ENLUCIDO VERTICAL CON IMPERMEABILIZANTE | M2 | 420 | 9,25 | 3884,16 |
| ENCOFRADO CON MADERA | M2 | 434 | 7,55 | 3275,83 |
| MALLA ELECTROSOLDADA 10X10X6mm | M2 | 584 | 4,68 | 2730,20 |
| TUBERÍA PVC 50mm | M | 20 | 5,50 | 110,00 |
| CODO PVC 50mm | U | 4 | 1,50 | 6,00 |
| TEE 50mm | U | 2 | 1,50 | 3,00 |
| VALVULA DE COMPUERTA 50mm | U | 4 | 12,00 | 48,00 |
| ARENA | M3 | 180 | 4,30 | 774,00 |
| GRAVA PARA FILTRO | M3 | 45 | 3,50 | 157,50 |
| TOTAL= | | | | 33830,55 |

Realizado por: SÁNCHEZ, Santiago, R. 2015

3.4.7.5 Análisis tanque de cloración

Tabla 42. Tanque de cloración.

| TANQUE DE CLORACIÓN | | | | |
|---|--------|----------|-----------------|----------------|
| DESCRIPCIÓN | UNIDAD | CANTIDAD | PRECIO UNITARIO | PRECIO TOTAL |
| LIMPIEZA Y DESBROCE | M2 | 3,4 | 0,90 | 3,06 |
| REPLANTEO Y NIVELACION | M2 | 3,4 | 0,99 | 3,35 |
| EXCAVACION MANUAL | M3 | 1,02 | 8,10 | 8,26 |
| REPLANTILLO H.S. 140 Kg/cm2 | M2 | 3 | 90,11 | 270,33 |
| HORMIGÓN SIMPLE F' C=210 Kg/CM2 | M3 | 2,34 | 175,13 | 409,81 |
| ENLUCIDO VERTICAL CON IMPERMEABILIZANTE | M2 | 25,2 | 9,25 | 233,05 |
| ENCOFRADO CON MADERA | M2 | 27,3 | 7,55 | 206,06 |
| MALLA ELECTROSOLDADA 10X10X6mm | M2 | 16,65 | 4,68 | 77,84 |
| TUBERÍA PVC 50mm | M | 6 | 15,50 | 93,00 |
| TEE 50mm | U | 2 | 1,50 | 3,00 |
| VALVULA DE COMPUERTA 50mm | U | 2 | 12,00 | 24,00 |
| TOTAL= | | | | 1349,77 |

Realizado por: SÁNCHEZ, Santiago, R. 2015

3.4.7.6 Análisis de costo total

Tabla 43. Costo total.

| OPERACIÓN | COSTO \$ |
|-----------------------|----------|
| Vertedero Rectangular | 626,01 |
| Floculador | 4286,15 |
| Sedimentador | 2983,53 |
| Filtros lentos | 33830,55 |
| Tanque de cloración | 1349,77 |
| Total | 43076,01 |

Realizado por: SÁNCHEZ, Santiago, R. 2015

3.4.7.7 Análisis de operación diaria

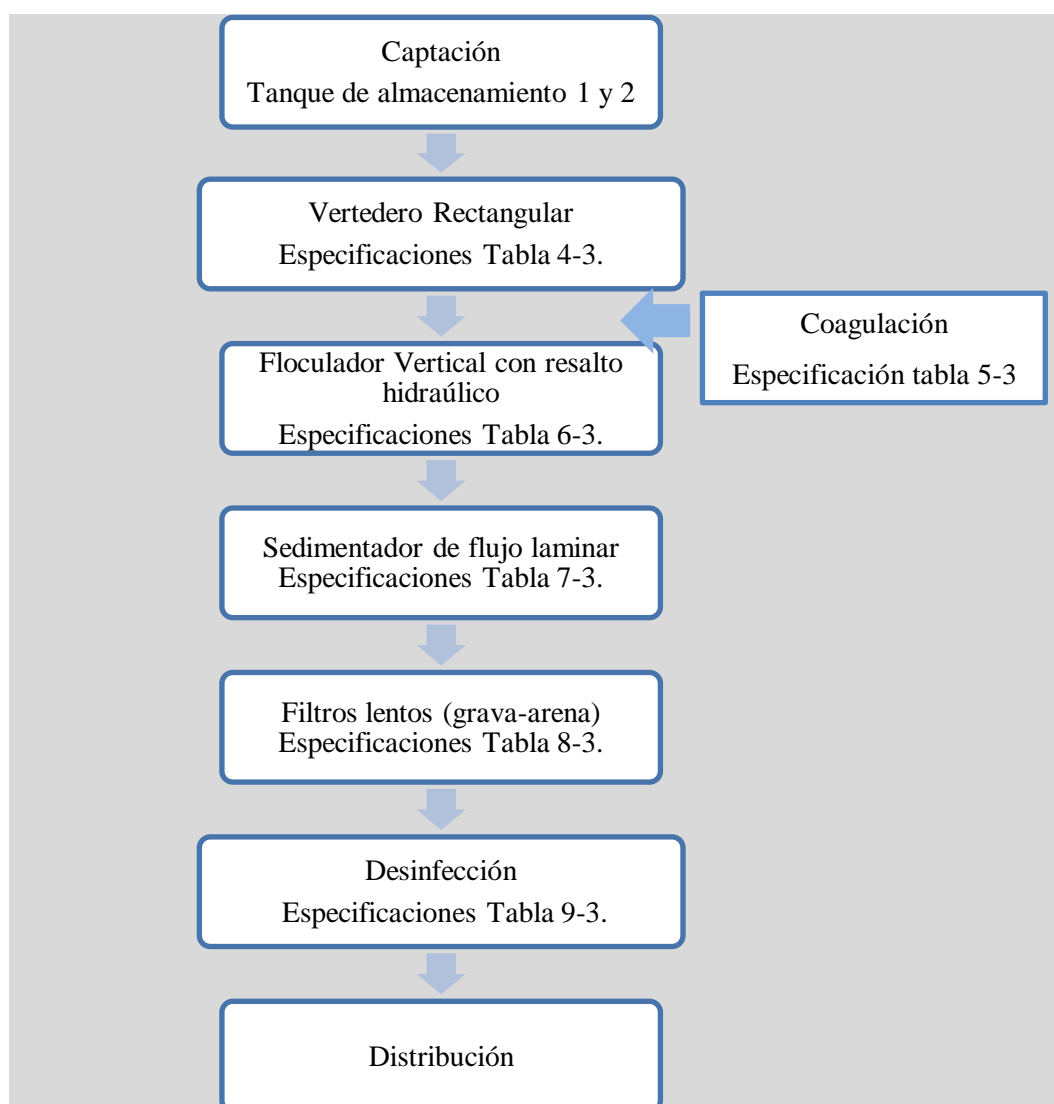
Tabla 44. Costo operación Diaria

| REQUERIMIENTOS | DOSIS | PRESENTACIÓN | COSTO POR PRESENTACIÓN \$ | COSTO \$ |
|-------------------------|-------------|-----------------|---------------------------|----------|
| Policloruro de Aluminio | 0.063 L/día | Tambor de 250 L | 211.69 | 0.053 |
| Hipoclorito de Sodio | 0,12 kg/día | Saco de 25 kg | 4.30 | 0,021 |
| TOTAL | 0,074 | | | |

Realizado por: SÁNCHEZ, Santiago, R. 2015

3.4.8 Propuesta de diseño

El siguiente diseño de potabilización de agua se puede implementar en la Parroquia Matriz del cantón Penipe provincia de Chimborazo.



Realizado por: SÁNCHEZ, Santiago 2015

3.4.9 *Análisis y discusión de resultados*

De la caracterización físico – química y microbiológica tenemos que los siguientes parámetros están fuera de la Norma NTE INEN 1 108:2011 “Agua Potable”: pH 6.38, Nitritos 2600, Fosfatos 0.960, coliformes totales 48 UFC/100ml y coliformes fecales 6UFC/100ml.

Podemos decir que al utilizar policloruro de aluminio al 10% en las pruebas de jarras se disminuyeron los parámetros fuera de norma para que estos entren en los límites permisibles de la norma correspondiente pero esto solo los parámetros físico-químicos. Para los parámetros microbiológicos utilizamos hipoclorito de sodio en una concentración de 0.3 mg/L

Después de aplicar el tratamiento químico obtuvimos resultados dentro de norma el pH 7.52, nitritos 0.010, fosfatos 0.12 y ausencia total de coliformes totales y fecales; lo cual nos indica que el tratamiento es el adecuado para cumplir con la Norma NTE INEN 1 108:2011 “Agua Potable”.

Tenemos que los porcentajes de remoción son buenos lo que nos indica que el tratamiento es el mejor para los parámetros fuera de norma. Tenemos que el pH tiene un % de remoción de 88,47, los nitritos tienen un % de remoción de 99.9, los fosfatos tienen un % de remoción del 87,5 y los coliformes totales y fecales tenemos una remoción del 100% lo que garantiza nuestra agua y que la dosificación del hipoclorito de sodio es la correcta.

CONCLUSIONES

- Se diseñó la planta potabilizadora de agua para la Parroquia Matriz del cantón Penipe de la Provincia de Chimborazo para que esta cumpla con los parámetros de la Norma NTE INEN 1 108:2011 “Agua Potable” y la población obtenga un servicio vital y de calidad.
- Se realizó la caracterización físico-química y microbiológica del agua cruda que es distribuida en la Parroquia Matriz del Cantón Penipe en el laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH, laboratorio SAQMIC y laboratorio certificado y se obtuvieron resultados los cuales indican que esta agua no debe ser consumida sin un tratamiento previo por la población ya que tiene parámetros importantes fuera de norma.
- Se monitoreo la fuente de abastecimiento y las líneas de distribución de agua potable para la Parroquia Matriz del Cantón Penipe y se obtuvo que los parámetros fuera de norma son los mismos tanto en la fuente como el agua distribuida.
- Determinamos los parámetros fuera de la Norma NTE INEN 1 108:2011 mediante caracterización físico-química y microbiológica, tenemos que son: pH, nitritos, fosfatos, coliformes totales y fecales
- De acuerdo a los valores obtenidos en el laboratorio y la tratabilidad que se le dio al agua determinamos que el sistema de tratamiento de agua potable debe tener las siguientes etapas: un vertedero rectangular, un floculador vertical con resalto hidráulico, coagulación con policloruro de aluminio al 10%, un sedimentador laminar, filtros lentos de grava-arena y la desinfección.
- El diseño de la planta nos indica que el tratamiento propuesto es el mejor para el tipo de agua cruda y para que la población sea beneficiada en el presente y en el futuro. Esta planta también nos permite que el municipio la pueda aplicar ya que en el estudio económico nos indica que la planta se puede realizar con 43706,01 dólares.
- Al realizar la caracterización del agua tratada obtuvimos que existe un aumento de pH, y la remoción parcial y total de nitritos, fosfatos, coliformes fecales y coliformes fecales con porcentajes de remoción muy altos lo que indica que el tratamiento es el mejor para alcanzar parámetros deseados.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda aplicar el diseño de la planta potabilizadora de agua para la parroquia matriz del cantón Penipe Provincia de Chimborazo para que los habitantes puedan consumir un agua de mejor calidad.
- Los tanques de almacenamiento deben tener un plan de limpieza y mantenimiento ya que esto ayudara a que el agua tenga una mejor calidad y el tratamiento sea más fácil.
- Debido a que Penipe se encuentra en un sector de riesgo por la presencia de diferentes volcanes se recomienda que cada operación y cada tanque tenga cubiertas que permitirán que no exista una alteración en los parámetros del agua.
- El policloruro de aluminio y el hipoclorito de sodio deben almacenarse en lugares secos a temperatura ambiente para que no exista daño a los mismos. La dosificación se puede realizar manualmente o mediante una bomba, esto depende del municipio.
- Se debe realizar análisis periódicamente para saber el estado del agua y el de la planta, si el municipio tuviera recursos sería importante implementar un laboratorio de análisis.

BIBLIOGRAFÍA

AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION., *Agua su Calidad y Tratamiento.* México D.F. México Limusa., 1968, p.p. 40-48, 178-182.

APHA, AWWA, WPCF. *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater.,* 17ª ed., Madrid., España., Díaz de Santos.1992, p.p. 208 – 228.

ARBOLEDA., J., *Teoría y Práctica de la Purificación del Agua.,* 3.a.ed., Bogotá – Colombia., Editorial Mc. Graw Hill., 2000., p.p 140-168.

AVILA V.G., Agua potable (Blog)., (Consulta: 2015-01-11) Disponible en: http://mimosa.pntic.mec.es/vgarcil4/agua_potable.htm

AWT, S.A., *Policloruro de aluminio* (En línea)., Quito-Ecuador., (Consulta: 2015-03-15) Disponible en: PAC-torres.com.ec/pdf

INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACION (INEN)., Norma Técnica Ecuatoriana- Requisitos para el agua de Potable INEN 1 108:2011., 2.a.ed., Quito – Ecuador., 2011.

NAVARRA., *Características químicas del agua potable* (Blog)., (Consulta: 2015-01-27) Disponible en: www.navarra_es/home_es/temas/medio+ambiente/agua/documentación/parámetros/pámetros nutrientes.htm

PITTMAN R.A., *Agua potable para poblaciones rurales* (En línea)., (Consulta: 2015-02-03) Disponible en: http://www.bvsde.opsoms.org/bvsacg/guialcalde/2sas/d22/092_aforos/Agua_potable_para_poblaciones_rurales_%28CAP%5B1%5D.%203%29.pdf

PITTMAN R.A., *Muestreo de Agua potable para poblaciones rurales* (En línea)., (Consulta: 2015-03-14)., Disponible en: [www.bvsdeopsomps.org/bvsacg/guialcalde/2sas/d22/092_aforos/Agua_potable_para_poblaciones_rurales_\(CAP\(1\)%203\).pdf](http://www.bvsdeopsomps.org/bvsacg/guialcalde/2sas/d22/092_aforos/Agua_potable_para_poblaciones_rurales_(CAP(1)%203).pdf).

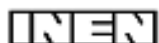
ROMERO, J. A., *Purificación del Agua.*, Bogotá. Colombia. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería., 2006, p.p. 107-112.

ROMERO, J. A., *Purificación del Agua.*, 2ª ed., Bogotá. Colombia. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería., 2006, p.p. 15-21, 53-55, 71-74, 141-146, 214-216, 259-263, 305-306, 401-413.

VÁSQUEZ, F. R., *Rediseño de la planta de tratamiento de agua potable “chaquishca” de la ciudad de Guaranda.*, (Tesis pregrado)., Ingeniero Químico/ESPOCH/Faculta de Ciencias., Riobamba-Ecuador., 2013

ANEXOS

Anexo A. NTE INEN 1 108:2011



INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN

Quito - Ecuador

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA

NTE INEN 1 108:2011
Cuarta revisión

AGUA POTABLE. REQUISITOS.

Primera Edición

DRINKING WATER. REQUIREMENTS.

Second Edition

DESCRIPCIONES: Protección ambiental y sanitaria, seguridad, calidad del agua, agua potable, requisitos.
AL: 01.06-401
COU: 620.1.0.00
CITE: 4200
ICS: 13.060.20

Norma Técnica
Ecuatoriana
Voluntaria

AGUA POTABLE.
REQUISITOS

NTE INEN
1 108 :2011
Cuarta revisión
2011-06

1. OBJETO

1.1 Esta norma establece los requisitos que debe cumplir el agua potable para consumo humano.

2. ALCANCE

2.1 Esta norma se aplica al agua potable de los sistemas de abastecimiento públicos y privados a través de redes de distribución y tanqueros.

3. DEFINICIONES

3.1 Para efectos de esta norma se adoptan las siguientes definiciones:

3.1.1 *Agua potable*. Es el agua cuyas características físicas, químicas microbiológicas han sido tratadas a fin de garantizar su aptitud para consumo humano.

3.1.2 *Agua cruda*. Es el agua que se encuentra en la naturaleza y que no ha recibido ningún tratamiento para modificar sus características: físicas, químicas o microbiológicas.

3.1.3 *Límite máximo permitido*. Representa un requisito de calidad del agua potable que fija dentro del ámbito del conocimiento científico y tecnológico del momento un límite sobre el cual el agua deja de ser apta para consumo humano. Para la verificación del cumplimiento, los resultados se deben analizar con el mismo número de cifras significativas establecidas en los requisitos de esta norma y aplicando las reglas para redondear números, (ver NTE INEN 052).

3.1.4 *UFC/ml*. Concentración de microorganismos por mililitro, expresada en unidades formadoras de colonias.

3.1.5 *NMP*. Forma de expresión de parámetros microbiológicos, número más probable, cuando se aplica la técnica de los tubos múltiples.

3.1.6 *mg/l*. (miligramos por litro), unidades de concentración de parámetros físico químicos.

3.1.7 *Microorganismo patógeno*. Son los causantes potenciales de enfermedades para el ser humano.

3.1.8 *Plaguicidas*. Sustancia química o biológica que se utiliza, sola, combinada o mezclada para prevenir, combatir o destruir, repeler o mitigar: insectos, hongos, bacterias, nematodos, ácaros, moluscos, roedores, malas hierbas o cualquier forma de vida que cause perjuicios directos o indirectos a los cultivos agrícolas, productos vegetales y plantas en general.

3.1.9 *Desinfección*. Proceso de tratamiento que elimina o reduce el riesgo de enfermedad que pueden presentar los agentes microbianos patógenos, constituye una medida preventiva esencial para la salud pública.

3.1.10 *Subproductos de desinfección*. Productos que se generan al aplicar el desinfectante al agua, especialmente en presencia de sustancias húmicas.

3.1.11 *Cloro residual*. Cloro remanente en el agua luego de al menos 30 minutos de contacto.

3.1.12 *Sistema de abastecimiento de agua potable*. El sistema incluye las obras y trabajos auxiliares construidos para la captación, conducción, tratamiento, almacenamiento y sistema de distribución.

(Continúa)

DESCRIPTORES: Protección ambiental y sanitaria, seguridad, calidad del agua, agua potable, requisitos.

4. DISPOSICIONES ESPECÍFICAS

5. REQUISITOS

5.1.1 El agua potable debe cumplir con los requisitos que se establecen a continuación:

| PARÁMETRO | UNIDAD | Límite máximo permitido |
|--------------------------|------------------------------------|-------------------------|
| Características físicas | | |
| Color | Unidades de color aparente (Pt-Co) | 15 |
| Turbiedad | NTU | 5 |
| Olor | ... | no objetable |
| Sabor | ... | no objetable |
| Asorginosis | | |
| Antimonio, Sb | mg/l | 0,02 |
| Arsénico, As | mg/l | 0,01 |
| Bario, Ba | mg/l | 0,7 |
| Boro, B | mg/l | 0,5 |
| Cadmio, Cd | mg/l | 0,003 |
| Camerio, Cm | mg/l | 0,07 |
| Cromo libre residual* | mg/l | 0,2 a 1,5 ** |
| Cobre, Cu | mg/l | 2,0 |
| Cromo, Cr (cromo total) | mg/l | 0,05 |
| Fluoruro | mg/l | 1,5 |
| Manganeso, Mn | mg/l | 0,4 |
| Mercurio, Hg | mg/l | 0,006 |
| Níquel, Ni | mg/l | 0,07 |
| Nitrato, NO ₃ | mg/l | 50 |
| Nitrato, NO ₂ | mg/l | 0,2 |
| Plomo, Pb | mg/l | 0,01 |
| Radación total α * | Bq/l | 0,1 |
| Radación total β ** | Bq/l | 1,0 |
| Selenio, Se | mg/l | 0,01 |

* Es el rango en el que debe estar el cromo libre residual luego de un tiempo mínimo de contacto de 30 minutos.

** Corresponde a la radiación emitida por los siguientes radionucleidos: ²¹⁰Po, ²¹⁰Pb, ²¹⁰Bi, ²¹⁰Pu, ²¹⁴Pb, ²¹⁴Bi, ²¹⁴Th, ²¹⁴Ac, ²¹⁴Pa, ²¹⁴Fr, ²¹⁴At.

* Corresponde a la radiación emitida por los siguientes radionucleidos: ²¹⁰Po, ²¹⁰Pb, ²¹⁰Bi, ²¹⁰Pu, ²¹⁴Pb, ²¹⁴Bi, ²¹⁴Th, ²¹⁴Ac, ²¹⁴Pa, ²¹⁴Fr, ²¹⁴At.

| | UNED AD | Límite máximo permitido |
|---|---------|-------------------------|
| Hidrocarburos policíclicos aromáticos HAP | | |
| Benzo [a]pireno | mg/l | 0,0007 |
| Hidrocarburos: | | |
| Benceno | mg/l | 0,01 |
| Tolueno | mg/l | 0,7 |
| Xileno | mg/l | 0,5 |
| Estireno | mg/l | 0,02 |
| 1,2 dicloroetano | mg/l | 0,03 |
| Cloruro de vinilo | mg/l | 0,0003 |
| Tricloroetileno | mg/l | 0,02 |
| Tetradicloroetano | mg/l | 0,04 |
| Dic2-etilhexil ftalato | mg/l | 0,008 |
| Acrylamida | mg/l | 0,0025 |
| Epoxihidrina | mg/l | 0,0004 |
| Hexaclorobutadieno | mg/l | 0,0008 |
| 1,2 Dibrometano | mg/l | 0,0004 |
| 1,4- Dioxano | mg/l | 0,05 |
| Ácido Nitrotrifluorico | mg/l | 0,2 |

Continued

Pesticidas

| | UNIDAD | Límite máximo permitido |
|----------------------------|--------|-------------------------|
| Isoproturón | mg/l | 0,009 |
| Lindano | mg/l | 0,002 |
| Piclor metálico | mg/l | 0,02 |
| Pentachloroeno | mg/l | 0,009 |
| Dieldrinoprop | mg/l | 0,1 |
| Alclorano | mg/l | 0,02 |
| Alclorito | mg/l | 0,01 |
| Alclor y Dieldrin | mg/l | 0,00003 |
| Carbofuran | mg/l | 0,007 |
| Clorpirifos | mg/l | 0,03 |
| DDT y metabolitos | mg/l | 0,001 |
| 1,2-Dicloro-3-cloropropeno | mg/l | 0,001 |
| 1,3-Dicloropropeno | mg/l | 0,02 |
| Dimetato | mg/l | 0,006 |
| Endrin | mg/l | 0,0006 |
| Terbufosfina | mg/l | 0,007 |
| Clorano | mg/l | 0,0002 |

Residuos de desinfectantes

| | UNIDAD | Límite máximo permitido |
|---------------|--------|-------------------------|
| Monocloramina | mg/l | 3 |

Subproductos de desinfección

| | UNIDAD | Límite máximo permitido |
|---------------------------------|--------|-------------------------|
| 2,4,6-Triclorofenol | mg/l | 0,2 |
| Trihalometanos totales | mg/l | 0,5 |
| Si pasa de 0,5 mg/l investigar: | | |
| + Bromodiclorometano | mg/l | 0,06 |
| + Cloroformo | mg/l | 0,3 |
| Ácido tricloroacético | mg/l | 0,2 |

Cianotoxinas

| | UNIDAD | Límite máximo permitido |
|-----------------|--------|-------------------------|
| Microcistina-LR | mg/l | 0,001 |

5.1.2 El agua potable debe cumplir con los siguientes requisitos microbiológicos.

Requisitos microbiológicos

| | Máximo |
|---|----------|
| Coliformes fecales ¹⁾ : | |
| - Tubos múltiples NMP/100 ml ó | < 1,1 * |
| - Filtración por membrana UFC/100 ml | < 1 ** |
| <i>Cryptosporidium</i> , número de ooquistes/100 litros | Ausencia |
| <i>Giardia</i> , número de quistes/100 litros | Ausencia |


* < 1,1 significa que en el ensayo del NMP utilizando 5 tubos de 20 cm³ ó 10 tubos de 10 cm³ ninguno es positivo

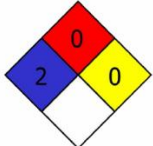
** < 1 significa que no se observan colonias

1) ver el anexo 1, para el número de unidades (muestras) a tomar de acuerdo con la población servida

(Continúa)

Anexo B. Ficha técnica PAC

| | | |
|---|--|---|
|  | FICHA TÉCNICA POLICLORURO DE ALUMINIO – PAC QUIMPAC | FTP PAG. 1 DE 1 VERSION: 1 |
|---|--|---|

| | | | | | | | | | | | |
|--|------------|--------|----------|--|-------------|---------|-------------|---------|----------------------------------|------|---|
| 1. PROPIEDADES FÓRMULA: $Al_n(OH)_m Cl_{3n-m}$ SINÓNIMOS: PAC, QUIMPAC PESO MOLECULAR: 219 gramos/mol 2. REGULACIONES RIESGO ASOCIADO: Irritante, Corrosivo  3. USOS PRINCIPALES El policloruro de aluminio tiene excelentes resultados en el uso como coagulante y/o floculante en el tratamiento de aguas potables, industriales y residuales. Amplio uso en agua con turbiedades altas y aguas con elevado contenido de materia orgánica. En la industria del papel se utiliza como agente de retención y para encolado en la fabricación del papel. Tiene aplicación en la industria textil, cerámica, extracción de petróleo y cosmética. 4. PROPIEDADES TÍPICAS <table><tr><td>Apariencia</td><td>Sólido</td></tr><tr><td>Amarillo</td><td></td></tr><tr><td>pH (1% Sln)</td><td>3,5 – 5</td></tr><tr><td>Basicidad %</td><td>75 – 90</td></tr><tr><td>Al₂O₃ %</td><td>30±1</td></tr></table> | Apariencia | Sólido | Amarillo | | pH (1% Sln) | 3,5 – 5 | Basicidad % | 75 – 90 | Al ₂ O ₃ % | 30±1 | 5. MANEJO Y ALMACENAMIENTO El PAC no es tóxico pero deben ser manejados como ligeramente corrosivos; se debe utilizar guantes de caucho, gafas de seguridad y overol. El PAC es un producto higroscópico por lo que se debe almacenar en lugares frescos, con mínima humedad y buena ventilación. El producto se comercializa en bolsas de 25 Kg. 6. PRECAUCIÓN Usar los elementos de seguridad: guantes, gafas y protección respiratoria durante la manipulación del producto. En caso de contacto con la piel y ojos lavar con abundante agua. En caso de ingestión lavar la boca inmediatamente y suministrar 500 ml de agua. En caso de inhalación salir del área y buscar un área con aire fresco. En caso de paro respiratorio se debe suministrar oxígeno. Obtener ayuda médica inmediatamente para todos los casos. En caso de derrame, recoja el residuo con precaución y lave la zona contaminada con agua. |
| Apariencia | Sólido | | | | | | | | | | |
| Amarillo | | | | | | | | | | | |
| pH (1% Sln) | 3,5 – 5 | | | | | | | | | | |
| Basicidad % | 75 – 90 | | | | | | | | | | |
| Al ₂ O ₃ % | 30±1 | | | | | | | | | | |

Anexo C. Caracterización físico-química

ESPOCH

LABORATORIO DE ANALISIS TECNICOS

FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703

Telefax: 2998200 ext 332

Riobamba - Ecuador

INFORME DE ANALISIS FISICO-QUIMICO DE AGUAS

Solicitado por: Sr. Santiago Sanchez

Fecha de análisis: 12 de enero de 2015

Fecha de entrega de resultados: 21 de enero de 2015

Tipo de muestra: Agua para consumo doméstico. Agua cruda

Localidad: Parroquia Matriz Cantón Penipe

TRABAJO DE TESIS

Código: 010-215

| Determinaciones | Unidades | *Límites | Resultados |
|-------------------|----------------|-----------|------------|
| pH | Unid | 6.5 - 8.5 | 6.38 |
| Conductividad | μ Siems/cm | < 1250 | 454 |
| Turbiedad | UNT | 5 | 1.2 |
| Cloruros | mg/L | 250 | 5.4 |
| Dureza | mg/L | 300 | 224.0 |
| Calcio | mg/L | 70 | 35.2 |
| Magnesio | mg/L | 30 - 50 | 33.0 |
| Alcalinidad | mg/L | 250 - 300 | 240.0 |
| Bicarbonatos | mg/L | 250 - 300 | 244.8 |
| Sulfatos | mg/L | 200 | 25.0 |
| Amonios | mg/L | < 0.50 | 0.030 |
| Nitritos | mg/L | 0.01 | 2.600 |
| Nitratos | mg/L | < 10 | 2.400 |
| Hierro | mg/L | 0.30 | 0.100 |
| Fosfatos | mg/L | < 0.30 | 0.960 |
| Sólidos Totales | mg/L | 1000 | 520.0 |
| Sólidos Disueltos | mg/L | 500 | 281.0 |

* Valores referenciales para aguas de consumo doméstico

Observaciones: Valores de pH, nitritos y fosfatos fuera de norma

Atentamente,

Dra. Gina Alvarez R.

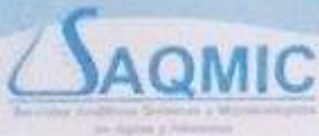
RESP. LAB. ANÁLISIS

Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada.



Nota: El análisis ha sido realizado por el Sr. estudiante bajo la dirección del responsable del laboratorio.

El análisis realizado no tiene costo para el estudiante. El informe afecta solo a la muestra analizada.

Anexo D. Caracterización microbiológica


Servicio Analítico Químico y Microbiológico
de Aguas y Alimentos

EXAMEN MICROBIOLÓGICO DE AGUA CÓDIGO 43-15

| CLIENTE: Sr. Santiago Sánchez | | TELÉFONO: | |
|---|-------------------------|--|-----------|
| DIRECCIÓN: Tarqui y Circunvalación | | | |
| TIPO DE MUESTRA: Agua del tanque reservorio | | | |
| FECHA DE RECEPCIÓN: 13 de enero del 2015 | | | |
| FECHA DE MUESTREO: 13 de enero del 2015 | | | |
| EXAMEN FÍSICO | | | |
| COLOR: Incoloro | | | |
| OLOR: Inoloro | | | |
| ASPECTO: Presencia de sólidos | | | |
| PARÁMETROS | MÉTODO | VALOR REFERENCIAL | RESULTADO |
| Coliformes totales UFC/100ml | Filtración por membrana | — | 48 |
| Coliformes fecales UFC/100ml | Filtración por membrana | <1 | 6 |
| NORMA INEN 1108:2011 | | | |
| OBSERVACIONES: | | | |
| FECHA DE ANÁLISIS: 13 de enero del 2015 | | | |
| FECHA DE ENTREGA: 15 de enero del 2015 | | | |
| RESPONSABLES: | | | |
|  Dra. Gina Álvarez R. | |  Dra. Fabiola Villa | |
| <p>El informe sólo afecta a la muestra solicitada a ensayo, el informe no deberá reproducirse sino en su totalidad previo autorización de los responsables.</p> | | | |

SAQMIC S.A. - Av. Tarqui y Circunvalación, Edificio "El Centro", 1ª planta, Quito - Ecuador
Teléfono: 02-22222222 - Correo: info@saqmic.com.ec
www.saqmic.com.ec

Anexo E. Caracterización laboratorio certificado



GRUPO DE ANÁLISIS Y EVALUACIÓN AMBIENTAL

INFORME DE ENSAYO

Solicitud de Análisis y Servicio

Puerto Francisco de Orellana 2015/01/12

SANTIAGO SÁNCHEZ

Atm. Santiago Sánchez
Dirección: Tenapa, barrio el matorral

1. Datos generales:

Recogido por: Santiago Sánchez
Fecha hora de toma de muestra(s): 2015 / 01 / 10 12/30
Fecha hora ingreso al Laboratorio: 2015 / 01 / 11 11/15
Fecha del análisis: 2015 / 01 / 11
(Tipo de muestra(s) Lugar donde se hizo la toma de muestra)
Y a

2. Parámetros y métodos / referencias:

| Item | Análisis / servicio solicitado | Unidad | Y | Tabla de comparación | ITE-AQLAB |
|------|--------------------------------|-------------|-------|----------------------|-------------|
| 1 | pH | Unid. | 6,38 | 6,5-8,3 | ITE-0101-01 |
| 2 | Conductividad | µSiemens/cm | 454 | < 1250 | ITE-0101-01 |
| 3 | Turbiedad | UNT | 1,2 | 5 | ITE-2201-01 |
| 4 | Oxígeno | mg/L | 5,4 | 250 | ITE-1001-01 |
| 5 | Dureza | mg/L | 224,0 | 300 | ITE-1901-01 |
| 6 | Calcio | mg/L | 35,2 | 70 | ITE-1901-01 |
| 7 | Magnesio | mg/L | 33,0 | 30-50 | ITE-1901-01 |
| 8 | Alcalinidad | mg/L | 240,0 | 250-300 | ITE-5001-01 |
| 9 | Bicarbonatos | mg/L | 244,8 | 250-300 | ITE-1301-01 |
| 10 | Sulfatos | mg/L | 25,0 | 200 | ITE-2401-01 |
| 11 | Amoníaco | mg/L | 0,030 | < 0,50 | ITE-1201-01 |
| 12 | Nitratos | mg/L | 2400 | 0,01 | ITE-1601-01 |
| 13 | Nitrato | mg/L | 2400 | < 10 | ITE-1701-01 |
| 14 | Hierro | mg/L | 0,080 | 0,30 | ITE-2001-01 |
| 15 | Fosfatos | mg/L | 0,960 | < 0,30 | ITE-1701-01 |
| 16 | Sólidos Totales | mg/L | 520,0 | 1000 | ITE-0301-01 |
| 17 | Sólidos Disueltos | mg/L | 201,0 | 50 | ITE-0101-01 |
| 18 | Coliformes totales | UFC/100ml | 41 | — | ITE-2501-01 |
| 19 | Coliformes Fecales | UFC/100ml | 6 | < 1 | ITE-2901-01 |

2.1. Comentario:

Como podemos observar el agua tiene problemas en los parámetros de pH, nitratos, fosfatos y en coliformes fecales y totales.


AQLAB Trabaja Acorde a la Norma NTE ENEN ISO/IEC 17025:2006

El informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo

Prohibida la reproducción total o parcial, por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio

Calle Juan Páez, entre las calles Antonio Gómez y Fray Domingo de Silveira, Barrio Cien leguas tras las oficinas de Munda -
www.aqlab.com - laboratorio@aqalab.com - Telf: (593) 4 2881715 - Cel: 0991666858

Anexo F. Caracterización final en un laboratorio certificado


Laboratorio de Análisis y Evaluación Ambiental

INFORME DE ENSAYO
Solicitud de Análisis y Servicios

Puerto Francisco de Orellana 2015/03/14

SANTIAGO SÁNCHEZ
Jefe, Santiago Sánchez
Democrito, Pílope, Juanjo el moador

1. Datos generales:
Recogida por Santiago Sánchez
Fecha hora de toma de muestra(s) 2015/ 03 / 12 10/00
Fecha hora ingreso al Laboratorio 2015 / 03 / 13 09/45
Fecha del análisis 2015 / 03 / 13
(Tipo de muestra Lugar donde se hizo la toma de muestra)
Y a

2. Parámetros y métodos/referencias:

| Item | Análisis/ servicio solicitado | Unidad | Y | Tabla de comparación | ITE-AQLAB |
|------|-------------------------------|-----------|-------|----------------------|-------------|
| 1 | pH | Unid | 7,52 | 6,5-8,5 | ITE-0101-01 |
| 12 | Nitratos | mg/L | 0,010 | 0,01 | ITE-1601-01 |
| 15 | Fosfatos | mg/L | 0,12 | < 0,30 | ITE-1701-01 |
| 18 | Coliformes totales | UFC/100ml | --- | --- | ITE-2801-01 |
| 19 | Coliformes Fecales | UFC/100ml | --- | < 1 | ITE-2901-01 |

2.1. Comentarios:
Como podemos observar el agua se encuentra bajo los límites de la Norma INEN 1198:2011

AQ/LAB Trabaja Acorde a la Norma NTE INEN ISO/IEC 17025:2006
El informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo.
Prohibida la reproducción total o parcial, por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio

Calle Juan Mazarie, entre las calles Antonio Calvez y Fray Gregorio de Alvarado, Barrio Con hogar tras las oficinas de Manda -
www.aqlabec.com - laboratorio@aqllabec.com Telf: (593) 6 2881715 Cel. 0991666858

MC2301-01

Página 1 de 1

ANEXO I. PLANTA DE TRATAMIENTO